

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-083546

(43)Date of publication of application : 28.03.1997

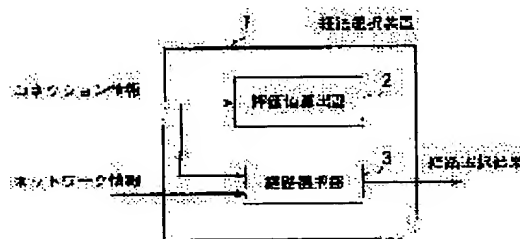
(51)Int.Cl. H04L 12/28  
G06F 17/50  
H04Q 3/00

(21)Application number : 07-259482 (71)Applicant : TOSHIBA CORP  
(22)Date of filing : 13.09.1995 (72)Inventor : ISE TSUNETARO

# (54) ROUTE SELECTING METHOD/DEVICE AND COMMUNICATION NETWORK DESIGN METHOD/DEVICE

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To efficiently allocate a more inexpensive optimum route by selecting the routes of plural bi-directional connections in accordance with an order based on evaluation values calculated on the plural bi-directional connections.  
SOLUTION: A route selection device 1 consists of an evaluation value calculation part 2 and a route selection part 3. The evaluation values of the bi-directional connections are calculated based on the band of the up connection and the band of the down connection of the bi-directional connection, and the routes of the plural bi-directional connections are selected in accordance with the order based on the evaluation values calculated on the plural bi-directional connections. When the bands of the up connection and the down connection differ, namely, even when the route of an asymmetrical direction connection is selected, the same route can be selected on the up connection and the down connection, which make a bi-directional pair.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

BEST AVAILABLE COPY

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-83546

(43)公開日 平成9年(1997)3月28日

(51)Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	庁内整理番号	FI	技術表示箇所
H04L 12/28		9466-5K	H04L 11/20	D
G06F 17/50			H04Q 3/00	
H04Q 3/00			G06F 15/60	650A

審査請求 未請求 請求項の数20 FD (全 38 頁)

(21)出願番号 特願平7-259482

(22)出願日 平成7年(1995)9月13日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 伊瀬 恒太郎

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

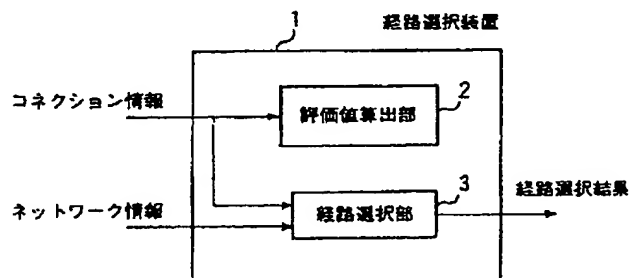
(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦

(54)【発明の名称】 経路選択方法および経路選択装置および通信網設計方法および通信網設計装置

(57)【要約】

【課題】与えられたネットワーク上での各種コネクションの経路選択と、与えられたトラヒック需要を収容する通信網の設計が効率よく行える。

【解決手段】評価値算出部2で双方向コネクション毎に、その上りコネクションの帯域と下りコネクションの帯域とを用いて評価値を求め、この算出された評価値に基づく順位に従って、経路選択部3で各双方向コネクションに対し、最小コスト経路を割り当てる。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数のノード装置を接続してなる通信網に、複数の双方向コネクションの経路を、その上りコネクションと下りコネクションが同じ経路を通るように選択する経路選択方法であって、

前記双方向コネクションの上りコネクションの帯域と下りコネクションの帯域をもとに、その双方向コネクションの評価値を算出し、前記複数の双方向コネクションのそれぞれについて算出された前記評価値に基づく順位に従って、前記複数の双方向コネクションの経路をそれぞれ選択することを特徴とする経路選択方法。

【請求項2】 前記双方向コネクションの上りコネクションの帯域がその下りコネクションの帯域よりも大きいかまたは等しいとき、前記上りコネクションの帯域の値に第1の重みの値を乗算したものと、前記下りコネクションの帯域の値に第2の重みの値を乗算したものとを加算することにより、前記双方向コネクションの評価値を算出し、前記上りコネクションの帯域が前記下りコネクションの帯域よりも小さいとき、前記上りコネクションの帯域の値に前記第2の重みの値を乗算したものと、前記下りコネクションの帯域の値に前記第1の重みの値を乗算したものとを加算することにより前記双方向コネクションの評価値を算出することを特徴とする請求項1記載の経路選択方法。

【請求項3】 複数のノード装置を接続してなる通信網に、複数の双方向コネクションの経路を、その上りコネクションと下りコネクションが同じ経路を通るように選択する経路選択装置であって、

前記双方向コネクションの上りコネクションの帯域と下りコネクションの帯域をもとに、前記双方向コネクションの評価値を算出する評価値算出手段と、

この評価値算出手段で前記複数の双方向コネクションのそれぞれについて算出された評価値に基づく順位に従って、前記複数の双方向コネクションの経路をそれぞれ選択する経路選択手段と、

を具備したことを特徴とする経路選択装置。

【請求項4】 前記評価値算出手段は、前記双方向コネクションの上りコネクションの帯域がその下りコネクションの帯域よりも大きいかまたは等しいとき、前記上りコネクションの帯域の値に第1の重みの値を乗算したものと、前記下りコネクションの帯域の値に第2の重みの値を乗算したものとを加算することにより前記双方向コネクションの評価値を算出し、前記上りコネクションの帯域が前記下りコネクションの帯域よりも小さいとき、前記上りコネクションの帯域の値に前記第2の重みの値を乗算したものと、前記下りコネクションの帯域の値に前記第1の重みの値を乗算したものとを加算することにより前記双方向コネクションの評価値を算出することを特徴とする請求項3記載の経路選択装置。

【請求項5】 複数のノード装置を接続してなる通信網

2

に、複数の双方向コネクションの経路を、その上りコネクションと下りコネクションが同じ経路を通るように選択する経路選択方法であって、

必要に応じて出力された異なるパラメータのそれぞれと、前記双方向コネクションの上りコネクションの帯域と下りコネクションの帯域をもとに、前記双方向コネクションの評価値を算出し、この算出された評価値に基づく順位に従い、前記複数の双方向コネクションの経路をそれぞれ選択し、その選択結果を前記パラメータに対応する経路選択結果として出力し、この出力された複数の経路選択結果に基づき、前記複数の双方向コネクションの最適経路を判断することを特徴とする経路選択方法。

【請求項6】 複数のノード装置を接続してなる通信網に、複数の双方向コネクションの経路を、その上りコネクションと下りコネクションが同じ経路を通るように選択する経路選択装置であって、

必要に応じて異なるパラメータを出力するパラメータ出力手段と、

このパラメータ出力手段で出力されたパラメータと、前記双方向コネクションの上りコネクションの帯域と下りコネクションの帯域をもとに、前記双方向コネクションの評価値を算出する評価値算出手段と、

この評価値算出手段で算出された評価値に基づく順位に従い、前記複数の双方向コネクションの経路をそれぞれ選択し、その選択結果を前記パラメータに対応する経路選択結果として出力する出力手段と、

この出力手段で出力された複数の経路選択結果に基づき、前記複数の双方向コネクションの最適経路を判断する判断手段と、

を具備したことを特徴とする経路選択装置。

【請求項7】 複数のノード装置を接続してなる通信網に、複数のコネクションの経路を選択する経路選択方法であって、

前記複数のコネクションのとり得る経路を探索し、この探索された経路上のリンクに前記コネクションの帯域を予約して、その帯域の予約状態をもとに、前記複数のコネクションのそれぞれに対し、前記探索された経路のうちの1つを選択することを特徴とする経路選択方法。

【請求項8】 前記リンクに予約された帯域の中で前記リンクに収容できない溢れ帯域を算出し、この算出された溢れ帯域をもとに、前記コネクションの取り得る経路に対して評価値を算出し、この算出された評価値に基づく順位に従って、前記複数のコネクションのうち少なくとも1本のコネクションに対し、前記探索された経路のうちの1つを選択することを、全てのコネクションに対し経路が選択されるまで繰り返すことを特徴とする請求項7記載の経路選択方法。

【請求項9】 前記コネクションに前記探索された経路のうちの1つを割り当てたと仮定し、その経路上にないリンクから前記コネクションの予約帯域を取り除いた場

50

3

合に、予約された帯域の中でリンクに収容できない溢れ帯域を算出し、この算出された溢れ帯域をもとに、前記複数のコネクションの取り得る経路に対して評価値を算出し、この算出された評価値に基づく順位に従って、前記複数のコネクションのうち少なくとも1本のコネクションに対し、前記探索された経路のうちの1つを選択することを、全てのコネクションに対し経路が選択されるまで繰り返すことを特徴とする請求項7記載の経路選択方法。

【請求項10】 前記リンクに予約された帯域の中で前記リンクに収容できない第1の溢れ帯域を算出し、前記コネクションに前記探索された経路のうちの1つを割り当てたと仮定し、その経路上にないリンクから前記コネクションの予約帯域を取り除いた場合に、予約された帯域の中でリンクに収容できない第2の溢れ帯域を算出し、前記第1の溢れ帯域と前記第2の溢れ帯域をもとに、前記複数のコネクションの取り得る経路に対して評価値を算出し、この算出された評価値に基づく順位に従って、前記複数のコネクションのうち少なくとも1本のコネクションに対し、前記探索された経路のうちの1つを選択することを、全てのコネクションに対し経路が選択されるまで繰り返すことを特徴とする請求項7記載の経路選択方法。

【請求項11】 複数のノード装置を接続してなる通信網に、複数のコネクションの経路を選択する経路選択装置であって、前記複数のコネクションのとり得る経路を探索する経路探索手段と、この経路探索手段で探索された経路上のリンクに前記コネクションの帯域を予約する帯域予約手段と、この帯域予約手段で前記リンクに予約された帯域の予約状態をもとに、前記複数のコネクションのそれぞれに対し、前記経路探索手段で探索された経路のうちの1つを選択する経路選択手段と、を具備したことを特徴とする経路選択装置。

【請求項12】 前記経路選択手段は、前記帯域予約手段で前記リンクに予約された帯域の中で前記リンクに収容できない溢れ帯域を算出する溢れ帯域算出手段と、この溢れ帯域算出手段で算出された溢れ帯域をもとに、前記経路探索手段で探索された前記コネクションの取り得る経路に対して評価値を算出する評価値算出手段と、この評価値算出手段で算出された評価値に基づく順位に従って、前記複数のコネクションのうち少なくとも1本のコネクションに対し、前記経路探索手段で探索された経路のうちの1つを選択する選択手段と、全てのコネクションに対し経路が選択されるまで、前記帯域の予約状態を更新して、その更新された帯域の予約状態のもと、前記溢れ帯域算出手段に対し溢れ帯域を算出するよう制御する制御手段と、

4

を具備したことを特徴とする請求項11記載の経路選択装置。

【請求項13】 前記経路選択手段は、前記コネクションに前記経路探索手段で探索された経路のうちの1つを割り当てたと仮定し、その経路上にないリンクから前記コネクションの予約帯域を取り除いた場合に、予約された帯域の中でリンクに収容できない溢れ帯域を算出する溢れ帯域算出手段と、この溢れ帯域算出手段で算出された溢れ帯域をもとに、前記経路探索手段で探索された前記コネクションの取り得る経路に対して評価値を算出する評価値算出手段と、この評価値算出手段で算出された評価値に基づく順位に従って、前記複数のコネクションのうち少なくとも1本のコネクションに対し、前記経路探索手段で探索された経路のうちの1つを選択する選択手段と、全てのコネクションに対し経路が選択されるまで、前記帯域の予約状態を更新して、その更新された帯域の予約状態のもと、前記溢れ帯域算出手段に対し溢れ帯域を算出するよう制御する制御手段と、を具備したことを特徴とする請求項11記載の経路選択装置。

【請求項14】 前記経路選択手段は、前記帯域予約手段で前記リンクに予約された帯域の中で前記リンクに収容できない第1の溢れ帯域を算出する第1の算出手段と、前記コネクションに前記経路探索手段で探索された経路のうちの1つを割り当てたと仮定し、その経路上にないリンクから前記コネクションの予約帯域を取り除いた場合に、予約された帯域の中でリンクに収容できない第2の溢れ帯域を算出する第2の算出手段と、前記第1の算出手段で算出された第1の溢れ帯域と、前記第2の算出手段で算出された第2の溢れ帯域をもとに、前記経路探索手段で探索された前記コネクションの取り得る経路に対して評価値を算出する評価値算出手段と、この評価値算出手段で算出された評価値に基づく順位に従って、前記複数のコネクションのうち少なくとも1本のコネクションに対し、前記経路探索手段で探索された経路のうちの1つを選択する選択手段と、全てのコネクションに対し経路が選択されるまで、前記帯域の予約状態を更新して、その更新された帯域の予約状態のもと、前記第1の算出手段、前記第2の算出手段に対し、それぞれ前記第1の溢れ帯域、前記第2の溢れ帯域を算出するよう制御する制御手段と、を具備したことを特徴とする請求項11記載の経路選択装置。

【請求項15】 少なくとも通信網を構成するノードの数と、その各ノードの識別情報、各ノード間に設定されるリンクの種類とコストを含むネットワーク情報と、少なくとも通信フローの発ノードと着ノードの識別情

5

報、その通信フローの量を含むトラヒック情報をもとに、前記トラヒック情報にて要求されるトラヒック需要を収容できる通信網を設計する通信網設計方法であって、

前記ネットワーク情報をもとに、前記通信網の初期トポロジを設定し、必要に応じて前記初期トポロジを変更し、その設定された初期トポロジ、あるいは、変更して得られたトポロジに対して、前記トラヒック情報をもとに、所望のフローの経路を設定し、その設定された経路上のリンクのコストを算出し、その算出されたコストが、あらかじめ定められた条件を満たすまで、前記設定された経路を変更しながら、その変更された経路上のリンクのコストを算出し、前記算出されたコストが、あらかじめ定められた条件を満たすとき、少なくとも、そのときの前記所望のフローの経路、前記ノード間に設定されたリンクの種類を含む通信網設計情報を出力することを特徴とする通信網設計方法。

【請求項16】 前記設定された初期トポロジから、そのトポロジを構成するためのノード間を接続する複数のエッジのうち、少なくとも1本のエッジを取り除き、その取り除かれるエッジの組合せを変えることにより生成される複数のトポロジのうち、そのトポロジに対して設定された前記所望のフローの経路上のリンクのコストが、あらかじめ定められた条件を満たすものを記憶し、その記憶されたトポロジに対して設定された前記所望のフローの経路、前記ノード間に設定されたリンクの種類を含む通信網設計情報を出力することを特徴とする請求項15記載の通信網設計方法。

【請求項17】 少なくとも通信網を構成するノードの数と、その各ノードの識別情報、各ノード間に設定可能なリンクの種類とコストを含むネットワーク情報と、少なくとも各コネクション毎の要求帯域、発ノードと着ノードの識別情報を含むコネクション情報をもとに、前記コネクションを収容できる通信網を設計する通信網設計方法であって、

前記コネクション情報をもとに、発ノードと着ノードを同じくするコネクションの要求帯域をまとめることにより通信フローを生成し、この生成された通信フローと前記ネットワーク情報をもとに、前記通信フローの経路と前記ノード間のリンクを設定することにより仮想網を設計し、この設計された仮想網をもとに、前記コネクションの経路を決定し、この決定されたコネクションの経路をもとに前記ノード間に前記コネクションに対応するリンクを設定することを特徴とする通信網設計方法。

【請求項18】 少なくとも通信網を構成するノードの数と、その各ノードの識別情報、各ノード間に設定され得るリンクの種類とコストを含むネットワーク情報と、少なくとも通信フローの発ノードと着ノードの識別情報、その通信フローの量を含むトラヒック情報をもとに、前記トラヒック情報にて要求されるトラヒック需要

6

を収容できる通信網を設計する通信網設計装置であって、

前記ネットワーク情報をもとに、前記通信網の初期トポロジを設定する初期トポロジ設定手段と、必要に応じて前記初期トポロジ設定手段で設定された初期トポロジを変更するトポロジ変更手段と、前記初期トポロジ設定手段で設定された初期トポロジ、あるいは、前記トポロジ変更手段で変更されたトポロジに対して、前記トラヒック情報をもとに、所望のフローの経路を設定する経路設定手段と、

この経路設定手段で設定された経路上のリンクのコストを算出するコスト算出手段と、

このコスト算出手段で算出されたコストが、あらかじめ定められた条件を満たすまで前記経路設定手段で設定された経路を変更し、前記コスト算出手段に対し、その変更された経路上のリンクのコストを算出するよう制御する制御手段と、

前記コスト算出手段で算出されたコストが、あらかじめ定められた条件を満たすとき、少なくとも、そのときの前記所望のフローの経路、前記ノード間に設定されたリンクの種類を含む通信網設計情報を出力する出力手段と、

を具備したことを特徴とする通信網設計装置。

【請求項19】 前記トポロジ変更手段は、前記初期トポロジ設定手段で設定されたトポロジを記憶する記憶手段と、

この記憶手段に記憶されたトポロジから、そのトポロジを構成するためのノード間を接続する複数のエッジのうち、少なくとも1本のエッジを取り除くエッジ削除手段と、

このエッジ削除手段で取り除かれるエッジの組合せを変えることにより生成される複数のトポロジのうち、そのトポロジに対して前記経路設定手段で設定された前記所望のフローの経路が、あらかじめ定められた条件を満たすトポロジを前記記憶手段に記憶するよう制御する制御手段と、

を具備したことを特徴とする請求項18記載の通信網設計装置。

【請求項20】 少なくとも通信網を構成するノードの数と、その各ノードの識別情報、各ノード間に設定可能なリンクの種類とコストを含むネットワーク情報と、少なくとも各コネクション毎の要求帯域、発ノードと着ノードの識別情報を含むコネクション情報をもとに、前記コネクションを収容できる通信網を設計する通信網設計装置であって、

前記コネクション情報をもとに、発ノードと着ノードを同じくするコネクションの要求帯域をまとめることにより、通信フローを生成するフロー生成手段と、

このフロー生成手段で生成された通信フローと前記ネットワーク情報をもとに、前記通信フローの経路と前記ノ

ード間のリンクを設定することにより仮想網を設計する仮想通信網設計手段と、

この仮想網設計手段で設計された仮想網をもとに、前記コネクションの経路を決定するコネクション経路決定手段と、

このコネクション経路決定手段で決定されたコネクションの経路をもとにノード間に前記コネクションに対応するリンクを設定するリンク設定手段と、

を具備することを特徴とする通信網設計装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、複数のノード装置を接続してなる通信網において、最適な情報の転送経路を選択する経路選択方法および経路選択装置に関する。また、本発明は、所望のトラヒック需要を収容できる最適な通信網を設計する通信網設計方法および通信網設計装置に関する。

【0002】

【従来の技術】例えば、複数の端末装置を複数の交換機を介して接続し、これら端末装置間でセルと呼ばれる固定長パケットを転送して通信を行うATM(Asynchronous Transfer Mode:非同期転送モード)通信網においては、そのセルを転送する経路として、例えば、その物理網上に複数のVPC(Virtual Path Connection)を張りVP網を設定する必要がある。

【0003】このATM通信網のように、複数のノードとリンクから構成される通信網においては、複数のコネクションの最適な経路を一度に決定する問題(経路選択問題)の解法は、従来から種々提案されている。

【0004】一般に、この問題を最適に解くためにはシンプレックス法等を用いて連立方程式を解かなければならず、大規模な問題に対して最適解を求めることは、必要とする演算量及びメモリ量の観点からあきらめざるを得ない。

【0005】そこで、経路選択問題を近似的に解く方法が必要となる。この近似解法には、例えば、佐々木良一、中村勤、鈴木三知男、影井隆による「高速デジタル回線障害時用網再構成最適化技術」(電子情報通信学会論文誌 vol. J72・B-1, No.4, pp.272-280, 1989)がある。

【0006】この方法は、片方向コネクションに対する経路選択について述べられており、双方向コネクションに対する経路選択については述べられていない。そのため、上記の方法を用いて双方向コネクションの経路選択を行なうためには、その上りコネクションと下りコネクションを独立な片方向コネクションとみなして経路選択を行なうことが考えられる。すると、双方向ベアをなす上りコネクションと下りコネクションが同じ経路を通る保証がなくなる。

【0007】また、より計算量の少ない経路選択アルゴ

リズムとして、コネクションをその帯域の大きい順にその最小コスト経路に設定していく方法が考えられる。この方法は、片方向コネクション、あるいは双方向ベアをなす上りコネクションと下りコネクションの帯域が等しい双方向コネクション(対称双方向コネクション)に対する経路選択を行なう場合には良い結果を与える。

【0008】しかし、双方向ベアをなす上りコネクションと下りコネクションの帯域が異なる双方向コネクション(非対称双方向コネクション)に対する経路選択を行なう場合には、1本の双方向コネクションに対して帯域が2種類割り当てられているため、このアルゴリズムを適用することができない。もちろん、双方向コネクションの上りコネクションと下りコネクションを独立な片方向コネクションとみなして経路選択を行なうことはできるが、その場合は双方向ベアをなす上りコネクションと下りコネクションが同じ経路を通る保証はなくなる。

【0009】一方、例えば画像データベースをアクセスする場合を考えると、端末から画像データベースへのコネクションは低速でよいが、画像データベースから端末へのコネクションは高速であることが要求される。このような非対称双方向コネクションを設定する需要は今後増すことが予想される。

【0010】ATM通信網では、ある経路に沿ってコネクションの設定要求を出すと、その経路上の上りと下りの両方向に対してVCI(Virtual Channel Identifier)、すなわち、各コネクションの識別子が確保される。つまり、片方向コネクションを設定する場合には、逆方向の要求帯域を「0」に設定することにより実現され、逆方向のVCIは確保されたままとなる。そのため、双方向ベアをなす上りコネクションと下りコネクションに異なる経路を設定すると、上りと下りの各々のコネクションの逆方向に割り当てられたVCIを無駄にすることになる。

【0011】また、双方向ベアをなす上りコネクションと下りのコネクションが異なる経路を通ると、上りと下りの各々のコネクションに対するOAM(Operations, Administration and Maintenance)セルのループバック用のコネクションが必要となり、合計4本のコネクションを張ることが必要となる。

【0012】それに対して、上りコネクションと下りコネクションの経路が同じである場合には、上り(下り)コネクションのOAMセルのループバック用のコネクションには、下り(上り)コネクションを用いることができるため、2本のコネクションを張ればよい。それ故、コネクション管理という点からも、双方向ベアをなす上りコネクションと下りコネクションの経路は同じであることが望ましい。

【0013】ここでは具体例として、ATMT通信網を挙げたが、ATM通信網に限らず、双方向ベアをなす上りコネクションと下りコネクションの経路は同じである

9

ことが望ましい通信網は存在し、また今後も出現することが予想される。

【0014】次に、先に挙げた経路選択問題の近似解法（「高速デジタル回線障害時用網再構成最適化技術」）について、簡単に説明する。

【0015】まず初めに、利得の定義を行なう。コネクションを張る経路には、望ましい経路そうでない経路が存在することが考えられ、また全てのコネクションが張れない場合には張るべきコネクションに優先度のあることが考えられる。このような経路の好悪、コネクションの優先度を表す変数を利得として定義し、コネクション  $k$  に経路  $l$  を割り当てた場合に得られる利得を  $C_{kl}$  で表わす。そしてここでは、各リンクを通過するコネクションの帯域の合計はそのリンクの容量以下であるという条件の基で、得られる利得を最大とするようにコネクションの経路を決定する。そのために、リンク  $j$  ( $= 1, 2, \dots, J$ ) の使用率を  $E_j$  とし、これを用いてベクトル  $P_k$  を  $P_k = \{E_1, E_2, \dots, E_J\}$  で定義する。

【0016】コネクション  $k$  に経路  $l$  を割り当てた場合に、リンク  $j$  に新たに加わる負荷  $F_{klj}$  を用いて、ベクトル  $P_{kl}$  を  $P_{kl} = \{F_{kl1}, F_{kl2}, \dots, F_{klJ}\}$  と定義する。 $G_{kl}$  を式 (1) で求め、 $G_{kl}$  を最大とするコネクションと経路を探す。

【0017】

【数1】

$$G_{kl} = \frac{C_{kl}}{P_{kl} \cdot P_u / |P_u|} \quad \dots (1)$$

但し、 $A \cdot B$  はベクトル  $A$  と  $B$  の内積を表し、 $|A|$  はベクトル  $A$  の長さを表す。 $G_{kl}$  を最大とするコネクションを  $m$ 、経路を  $i$  とすると、コネクション  $m$  に経路  $i$  を割り当て、 $P_k = P_k + P_{mi}$  とする。以後、同様の操作を繰り返すことにより、コネクションに経路を割り当てていく。

【0018】概念的に述べると、この方法は、得られる利得はなるべく大きくなるように、そして現在までに経路の決定したコネクションが使用している帯域を表すベクトル  $P_k$  をなるべく大きくしないように次に張るべきコネクションとその経路を決定している。これは、使用帯域の点からみると、リンクの負荷をなるべく分散し、各リンクの負荷を均一にしていると言える。

【0019】具体例として、図16に示すネットワークについて、ノードAからノードCへの帯域10Mbpsのコネクションを10本張る場合を考える。ただし、図16のネットワークのリンクは片方向リンクでその容量は150Mbpsであるとする。また、簡単のために、 $C_{kl}$  の値はコネクション  $k$  の帯域と等しいものとする。これは、帯域の大きいコネクションは帯域の小さいコネクションよりも優先され、各コネクションにおいて経路に対する好悪はないことを意味する。

10

【0020】初めは、 $P_k = 0$  のため  $G_{kl}$  を計算することができないので、

【0021】

【数2】

$$G_{kl} = C_{kl} \times \frac{J^{1/2}}{\sum_{j=1}^J F_{klj}} \quad \dots (2)$$

を最大とするコネクションと経路を探す。この結果、1本目を経路A→B→Cに張ったとすると、 $P_k = \{10/150, 10/150, 0, 0, 0\}$  となり、2本目は経路A→D→Cに張られることとなる。以後この繰り返しにより、経路A→B→Cにコネクションが5本、経路A→D→Cに5本のコネクションが張られることとなる。この例では、10本のコネクションを経路A→B→Cに設定できるにもかかわらず、2つの経路にコネクションが分散される。

【0022】このように負荷を分散する傾向があるため、必要以上にリンクの負荷を分散する場合が生じ、このため、経路選択の性能が劣化する場合がある。例えば、図16のネットワークに、図17に示すような4本のコネクションを張る場合について考える。

【0023】初めは、 $P_k = 0$  のため  $G_{kl}$  を計算することができないため、式 (2) を最大とするコネクションと経路を探す。その結果、コネクション4に経路D→Eが割り当てられる。次に、 $P_k = \{0, 0, 0, 0, 5/150\}$  を用いて、式 (1) を最大にするコネクションと経路を探す。その結果、コネクション1を経路A→B→Cに割り当てることとなる。次に、 $P_k = \{10/150, 10/150, 0, 0, 5/150\}$  を用いて、式 (1) を最大にするコネクションと経路を探す。その結果、コネクション2を経路A→D→Cに割り当てることとなる。次に、 $P_k = \{10/150, 10/150, 10/150, 10/150, 5/150\}$  を用いて、式 (1) を最大にするコネクションと経路を探す。しかし、リンク3の残余帯域が不足しているため、コネクション4を設定することのできる経路を存在しない。この例では、リンクの負荷を分散させるために、コネクション2の経路をA→B→CではなくA→D→Cとしてしまうので、コネクション3の経路を失くしてしまっている。

【0024】以上説明したような経路選択問題と同様に、例えば、パケット専用線網の網設計の際にも、送信ノードと受信ノードの各組合せに対して、送出するであろうパケット量を推定し、ノード間に設定するリンクの容量とパケットの経路を決定する問題、すなわち、通信網設計問題を解く必要がある。この通信網設計問題の従来の解法例としては、例えば、Leonard Kleinrock による Queueing Systems (vol 2, p p. 270-421, John Wiley & Sons, 1976) に記されている。



【0025】この方法は、Flow Deviation法（FD法）と呼ばれ、効果的な方法である。しかし、この方法には、最小化したい目標関数が各ノード間を通過するトラヒック量の関数であり、しかも目標関数が各ノード間を通過するトラヒック量に対して2回微分可能な凸関数でなければならない。具体的には、網内でのリンクコストの和を最小化する場合には、リンクコストの和が各ノード間を通過するトラヒック量の関数として表せなければならない。もし、この条件が満たされていない場合には、FD法は、局所最適解しか得ることができない。

【0026】リンクが任意の容量をとり得るのではなく、リンクの種類毎に固定の容量をとる場合には、リンクコストの和が各ノード間を通過するトラヒック量に関して不連続関数となり、2回微分可能とならない。それゆえ最適解を得ることはできず、また近似解を求める効果的な方法もなかった。

【0027】

【発明が解決しようとする課題】このように、複数のノード（交換機、端末装置等）とリンク（伝送路）から構成される通信網の運用および、そのような通信網の設計においては、一般に、リンクの容量、各ノード間のトラヒック量、コスト等を考慮しながら、最適な経路を求めることが必須となっている。

【0028】しかし、従来の経路選択問題の近似解法は、片方向コネクションに対しての経路選択を行なうものであり、そのため非対称双方向コネクションの経路選択を行なう場合には、双方向ペアをなす上りコネクションと下りコネクションが同じ経路を通るという条件の下に経路選択問題を解くことができないという第1の問題点があった。

【0029】また、従来の経路選択問題の近似解法は、リンクの負荷を分散するように経路選択を行なうため、過度に負荷分散を行なうことにより経路選択の結果を劣化させるという第2の問題点があった。

【0030】さらに、従来の網設計問題の解法には、評価関数が各リンクを通るトラヒック量に関して2回微分可能な凸関数でない場合には、最適解を求めることはできず、近似解を求める効果的な方法もないという第3の問題点があった。

【0031】そこで、本発明は、第1の問題点に鑑み、双方向ペアをなす上りコネクションと下りコネクションの帯域が異なる場合、すなわち、非対称双方向コネクションの経路選択を行なう場合にも、双方向ペアをなす上りコネクションと下りコネクションについて同一の経路を選択することができる経路選択方法および経路選択装置を提供することを目的とする。

【0032】また、本発明は、第2の問題点に鑑み、リ

ンクの負荷分散を過度に行なうことなく、それにより経路選択問題の精度の良い近似解を得ることができる経路選択方法および経路選択装置を提供することを目的とする。

【0033】さらに、本発明は、第3の問題点に鑑み、通信網設計問題の評価関数が2回微分可能な凸関数でない場合でも、網設計問題の精度の良い近似解を与えることができる通信網設計方法および通信網設計装置を提供するものである。

【0034】

【課題を解決するための手段】本発明の経路選択方法は、複数のノード装置を接続してなる通信網に、複数の双方向コネクションの経路を、その上りコネクションと下りコネクションが同じ経路を通るように選択する経路選択方法であって、前記双方向コネクションの上りコネクションの帯域と下りコネクションの帯域をもとに、その双方向コネクションの評価値を算出し、前記複数の双方向コネクションのそれぞれについて算出された前記評価値に基づく順位に従って、前記複数の双方向コネクションの経路をそれぞれ選択することにより、双方向ペアをなす上りコネクションと下りコネクションの帯域が異なる場合、すなわち、非対称双方向コネクションの経路選択を行なう場合にも、双方向ペアをなす上りコネクションと下りコネクションについて同一の経路を選択することが可能となる。

【0035】また、本発明の経路選択装置は、複数のノード装置を接続してなる通信網に、複数の双方向コネクションの経路を、その上りコネクションと下りコネクションが同じ経路を通るように選択する経路選択装置であって、前記双方向コネクションの上りコネクションの帯域と下りコネクションの帯域をもとに、前記双方向コネクションの評価値を算出する評価値算出手段と、この評価値算出手段で前記複数の双方向コネクションのそれぞれについて算出された評価値に基づく順位に従って、前記複数の双方向コネクションの経路をそれぞれ選択する経路選択手段と、を具備することにより、非対称双方向コネクションの経路選択を行なう場合にも、双方向ペアをなす上りコネクションと下りコネクションについて同一の経路を選択することが可能となる。

【0036】また、本発明の経路選択方法は、複数のノード装置を接続してなる通信網に、複数の双方向コネクションの経路を、その上りコネクションと下りコネクションが同じ経路を通るように選択する経路選択方法であって、必要に応じて出力されたパラメータと、前記双方向コネクションの上りコネクションの帯域と下りコネクションの帯域をもとに、前記双方向コネクションの評価値を算出し、この算出された評価値に基づく順位に従い、前記複数の双方向コネクションの経路をそれぞれ選択し、その選択結果を前記パラメータに対応する経路選択結果として出力し、この出力された複数の経路選択結

果に基づき、前記複数の双方向コネクションの最適経路を判断することにより、非対称双方向コネクションの経路選択を行なう場合にも、双方向ペアをなす上りコネクションと下りコネクションについて同一の経路を選択することが可能となる。

【0037】また、本発明の経路選択装置は、複数のノード装置を接続してなる通信網に、複数の双方向コネクションの経路を、その上りコネクションと下りコネクションが同じ経路を通るように選択する経路選択装置であって、必要に応じて異なるパラメータを出力するパラメータ出力手段と、このパラメータ出力手段で出力されたパラメータと、前記双方向コネクションの上りコネクションの帯域と下りコネクションの帯域をもとに、前記双方向コネクションの評価値を算出する評価値算出手段と、この評価値算出手段で算出された評価値に基づく順位に従い、前記複数の双方向コネクションの経路をそれぞれ選択し、その選択結果を前記パラメータに対応する経路選択結果として出力する出力手段と、この出力手段で出力された複数の経路選択結果に基づき、前記複数の双方向コネクションの最適経路を判断する判断手段とを具備することにより、非対称双方向コネクションの経路選択を行なう場合にも、双方向ペアをなす上りコネクションと下りコネクションについて同一の経路を選択することが可能となる。

【0038】本発明の経路選択方法は、複数のノード装置を接続してなる通信網に、複数のコネクションの経路を選択する経路選択方法であって、前記複数のコネクションのとり得る経路を探索し、この探索された経路上のリンクに前記コネクションの帯域を予約して、その帯域の予約状態をもとに、前記複数のコネクションのそれぞれに対し、前記探索された経路のうちの1つを選択することにより、経路選択問題の精度の良い近似解を得ることができる。

【0039】また、本発明の経路選択装置は、複数のノード装置を接続してなる通信網に、複数のコネクションの経路を選択する経路選択装置であって、前記複数のコネクションのとり得る経路を探索する経路探索手段と、この経路探索手段で探索された経路上のリンクに前記コネクションの帯域を予約する帯域予約手段と、この帯域予約手段で前記リンクに予約された帯域の予約状態をもとに、前記複数のコネクションのそれぞれに対し、前記経路探索手段で探索された経路のうちの1つを選択する経路選択手段とを具備することにより、経路選択問題の精度の良い近似解を得ることができる。

【0040】本発明の通信網設計方法は、少なくとも通信網を構成するノードの数と、その各ノードの識別情報、各ノード間に設定され得るリンクの種類とコストを含むネットワーク情報と、少なくとも通信フローの発ノードと着ノードの識別情報、その通信フローの量を含むトラフィック情報をもとに、前記トラフィック情報にて要求

されるトラフィック需要を収容できる通信網を設計する通信網設計方法であって、前記ネットワーク情報をもとに、前記通信網の初期トポロジを設定し、必要に応じて前記初期トポロジを変更し、その設定された初期トポロジ、あるいは、変更して得られたトポロジに対して、前記トラフィック情報をもとに、所望のフローの経路を設定し、その設定された経路上のリンクのコストを算出し、その算出されたコストが、あらかじめ定められた条件を満たすまで、前記設定された経路を変更しながら、その変更された経路上のリンクのコストを算出し、前記算出されたコストが、あらかじめ定められた条件を満たすとき、少なくとも、そのときの前記所望のフローの経路、前記ノード間に設定されたリンクの種類を含む通信網設計情報を出力することにより、網設計問題の精度の良い近似解を与えることができる。

【0041】また、本発明の通信網設計方法は、少なくとも通信網を構成するノードの数と、その各ノードの識別情報、各ノード間に設定可能なリンクの種類とコストを含むネットワーク情報と、少なくとも各コネクション毎の要求帯域、発ノードと着ノードの識別情報を含むコネクション情報をもとに、前記コネクションを収容できる通信網を設計する通信網設計方法であって、前記コネクション情報をもとに、発ノードと着ノードを同じくするコネクションの要求帯域をまとめることにより通信フローを生成し、この生成された通信フローと前記ネットワーク情報をもとに、前記通信フローの経路と前記ノード間のリンクを設定することにより仮想網を設計し、この設計された仮想網をもとに、前記コネクションの経路を決定し、この決定されたコネクションの経路をもとに前記ノード間に前記コネクションに対応するリンクを設定することにより、網設計問題の精度の良い近似解を与えることができる。

【0042】また、本発明の通信網設計装置は、少なくとも通信網を構成するノードの数と、その各ノードの識別情報、各ノード間に設定され得るリンクの種類とコストを含むネットワーク情報と、少なくとも通信フローの発ノードと着ノードの識別情報、その通信フローの量を含むトラフィック情報をもとに、前記トラフィック情報にて要求されるトラフィック需要を収容できる通信網を設計する通信網設計装置であって、前記ネットワーク情報をもとに、前記通信網の初期トポロジを設定する初期トポロジ設定手段と、必要に応じて前記初期トポロジ設定手段で設定された初期トポロジを変更するトポロジ変更手段と、前記初期トポロジ設定手段で設定された初期トポロジ、あるいは、前記トポロジ変更手段で変更されたトポロジに対して、前記トラフィック情報をもとに、所望のフローの経路を設定する経路設定手段と、この経路設定手段で設定された経路上のリンクのコストを算出するコスト算出手段と、このコスト算出手段で算出されたコストが、あらかじめ定められた条件を満た

15

たすまで前記経路設定手段で設定された経路を変更し、前記コスト算出手段に対し、その変更された経路上のリンクのコストを算出するよう制御する制御手段と、前記コスト算出手段で算出されたコストが、あらかじめ定められた条件を満たすとき、少なくとも、そのときの前記所望のフローの経路、前記ノード間に設定されたリンクの種類を含む通信網設計情報を出力する出力手段とを具備することにより、網設計問題の精度の良い近似解を与えることができる。

【0043】また、本発明の通信網設計装置は、少なくとも通信網を構成するノードの数と、その各ノードの識別情報、各ノード間に設定可能なリンクの種類とコストを含むネットワーク情報と、少なくとも各コネクション毎の要求帯域、発ノードと着ノードの識別情報を含むコネクション情報をもとに、前記コネクションを収容できる通信網を設計する通信網設計装置であって、前記コネクション情報をもとに、発ノードと着ノードを同じくするコネクションの要求帯域をまとめることにより、通信フローを生成するフロー生成手段と、このフロー生成手段で生成された通信フローと前記ネットワーク情報をもとに、前記通信フローの経路と前記ノード間のリンクを設定することにより仮想網を設計する仮想通信網設計手段と、この仮想網設計手段で設計された仮想網をもとに、前記コネクションの経路を決定するコネクション経路決定手段と、このコネクション経路決定手段で決定されたコネクションの経路をもとにノード間に前記コネクションに対応するリンクを設定するリンク設定手段とを具備することにより、網設計問題の精度の良い近似解を与えることができる。

【0044】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態について、図面を参照して説明する。

【0045】まず、第1の実施形態について説明する。なお、以下の第1の実施形態の説明において、片方向コネクションとは、その方向が逆方向で帯域が「0」のコネクションと双方向ペアを成しているものと定義する。これにより、片方向コネクションと双方向コネクションが混在している場合でも、全て双方向コネクションとして扱うことができる。すなわち、片方向コネクションは\*

$$E = a_1 \cdot \max(W_{op}, W_{dop}) + a_2 \cdot \min(W_{op}, W_{dop})$$

... (3)

$a_1$ 、 $a_2$  は、重みと呼ばれ、それぞれ第1の重み記憶手段2c、第2の重み記憶手段2dにあらかじめ記憶されている値である。

【0054】重み和算出部2bで算出された評価値Eは、経路選択部3に出力される。

【0055】図3は、経路選択部3の構成を概略的に示すもので、評価値記憶部3a、コネクション選択部3b、最小コスト経路算出部3cから構成される。

【0056】評価値記憶手段3aでは、評価値算出部2

16

\* その方向が逆方向で帯域が「0」のコネクションと双方向ペアを成しているものとみなすことにより、片方向コネクションを双方向コネクションとして扱う。また、簡単のため、双方向コネクションを単にコネクションと記述し、双方向ペアを成す2本のコネクションを別々に表す必要がある時は、上りコネクション、下りコネクションと記述する。

【0046】図1は、第1の実施形態に係る経路選択装置1の構成を概略的に示したものである。

【0047】図1において、経路選択装置1は、評価値算出部2と経路選択部3とから構成される。

【0048】評価値算出部2には、所望のコネクションについて、経路を選択するために必要な情報、例えば、帯域、発着ノードの識別情報等を含むコネクション情報が入力され、あらかじめ定められた手順にて、そのコネクションについての評価値を算出するようになっている。

【0049】経路選択部3には、あらかじめ経路選択対象のネットワークに関する情報、例えば、そのネットワークのトポロジー、各リンクの容量、コスト等を含むネットワーク情報が入力されていて、この情報をもとに、モデル化された経路選択対象のネットワークについて、評価値算出部2で評価値が算出された各コネクションに対する最適な経路を割り当てる処理を行うものである。

【0050】図2は、評価値算出部2の構成を概略的に示したもので、帯域比較部2a、重み和算出部2b、第1の重み記憶部2c、第2の重み記憶部2dから構成される。

【0051】帯域比較部2aは、コネクション情報として入力された上りコネクションの帯域 $W_{op}$ 、と下りコネクションの帯域 $W_{dop}$ を比較して、その比較結果を重み和算出部2bに出力するようになっている。すなわち、 $\max(W_{op}, W_{dop})$ 、 $\min(W_{op}, W_{dop})$ を求める。ここで、関数 $\max(x, y)$ は、 $x$ と $y$ のうち小さくない方の値を返す関数であり、関数 $\min(x, y)$ は $x$ と $y$ のうち大きくない方の値を返す関数である。

【0052】重み和算出部2bは、コネクション毎に評価値Eを式(3)から求めるようになっている。

【0053】

から出力された各コネクション毎に算出された評価値Eを一時記憶するものである。

【0057】コネクション選択部3bは、評価値記憶部3aに一時記憶されている評価値をもとに、その値の大きい順にコネクションを選択するもので、選択されたコネクションは、最小コスト経路算出部3cに出力される。

【0058】最小コスト経路算出部3cでは、コネクション選択手段で選択されたコネクションに対し、そのコ

50

17

ネクションを収容できるだけの残余帯域を持つ経路の中で最もコストの小さい経路を割り当てる処理を行う。その後、再び、コネクション選択部3 bは、新たなコネクションを選択して、最小コスト経路算出部3 cが経路を割り当てる処理を行い、これを繰り返すことにより、所望の全てのコネクションに対して、経路を割り当てる。

【0059】コネクション選択部3 bにおける、コネクションの選択を効率的に行なうために、予め評価値をその大きさによりソートを行ない、コネクションの順序付けを行なってもよい。

【0060】次に、図4、図5に示すフローチャートを参照して、図1の経路選択装置1の動作処理について説明する。なお、図4は、主に、評価値算出部2の動作処理を示し、図5は、経路選択部3の動作処理を示すものである。

【0061】また、ここでは、図6に示したようなメッシュ型のトポロジーのネットワークを対象に、図7に示した各コネクションの経路を選択する場合について説明する。

【0062】図6は、経路選択対象であるネットワーク \*

$$D_i(XYZ) = \{C(XY) + C(YZ)\} W_{d...} + \{C(ZY) + C(YX)\} W_{u...} \quad \dots (4)$$

但し、 $W_{d...}$ はノードXからノードZへ向かう下りコネクションの帯域とし、 $W_{u...}$ はノードZからノードXへ向かう上りコネクションの帯域である。

【0066】また、コスト $D_i(XYZ)$ は、コネクシ※

$$D_i(XYZ) = \{C(XY) + C(YZ)\} + \{C(ZY) + C(YX)\} \quad \dots (5)$$

ここでの説明では、コストDの計算に式(5)を用いることにする。また、説明を簡単にするために、全てのリンクに対してその容量を150 [Mbps]とし、そのリンクコストを「1」とする。もちろん容量とリンクコストはリンク毎に異なる値をとっても構わない。また、リンクコストがリンクの残容量によって変化しても構わない。

【0068】図7では、発ノードから着ノードへのコネクションの帯域を下り帯域、着ノードから発ノードへのコネクションの帯域を上り帯域として記述している。

【0069】第1の重み記憶部2 c、第2の重み記憶部2 dのそれぞれに記憶されている重み $a_1$ 、 $a_2$ の値をそれぞれ「1」「0」として、図7に示したようなコネクション(コネクション番号 $i=1\sim5$ )の経路選択の★

$$E = a_1 \cdot W_{d...} + a_2 \cdot W_{u...}$$

となり、また、下り帯域の方が大きいとき式(3)は、

$$E = a_1 \cdot W_{d...} + a_2 \cdot W_{u...}$$

18

\*の構成を概略的に示したもので、このネットワークは、ノードA、B、C、D、Eを収容し、各ノード間は論理的な伝送路、すなわち、リンク(図6の矢印で示したもの)で接続されている。図6では、ノード間に互いに逆方向のリンクを記述しているが、物理的に2本の伝送路である必要はない。例えば、無線伝送路であってもよいし、時分割により伝送方向を変えるビンボン伝送を行なうように1本の伝送路であってもよい。

【0063】ノードX( $X=A\sim E$ )からノードY( $Y=A\sim E$ )へのリンクをリンクXYと記述し、リンクXYには、容量 $Q(XY)$ とリンクコスト $C(XY)$ が定義されているものとする。

【0064】また、リンクXYを通過するコネクションの帯域の合計が $Q(XY)$ を越えることはできないものとする。さらに、発ノードがXで着ノードがZ( $Z=A\sim E$ )である双方向コネクションiに例えば、経路 $X\rightarrow Y\rightarrow Z$ (これを経路XYZと記述する)を割り当てた場合に必要となるコストは $D_i(XYZ)$ は、式(4)で定義できる。

20 【0065】

※ヨンの帯域 $W_{d...}$ 、 $W_{u...}$ を用いず式(5)でも定義できる。

【0067】

★処理過程を、以下、図4、図5を参照して具体的に追っていく。

【0070】まず、評価値算出部2にコネクション情報として、例えば、コネクション番号、発ノード、着ノード、下り帯域、上り帯域が入力されると、順次、コネクションを選択していき(図4のステップS2)、帯域比較部2 aで上り帯域と下り帯域を比較する(ステップS3)。

【0071】その比較結果が上り帯域 $W_{u...}$ が下り帯域 $W_{d...}$ 以上のとき、ステップS4に進み、そうでないとき、ステップS5に進み、重み和算出部2 bで評価値Eを算出する。すなわち、上り帯域 $W_{u...}$ が下り帯域 $W_{d...}$ 以上のとき、式(3)は、

$$\dots (6)$$

$$\dots (7)$$

19

となり、ステップS4では、式(6)を用いて評価値Eを算出し、ステップS5では、式(7)を用いて評価値Eを算出する。

【0072】たとえば、コネクション1の場合、下り帯域の方が上り帯域より大きいのでステップS5に進み、式(7)から、その評価値Eは150と算出され、コネクション2の場合もステップS5に進み、同じようにして評価値Eは150と算出さ、コネクション3の場合は、ステップS4に進み、その評価値Eは140と算出される。コネクション4の場合は、上り帯域の方が下り帯域より大きいのでステップS4に進み、式(6)から評価値Eは130と算出される。コネクション5の場合は、例えばステップS4に進み、評価値は10と算出される。コネクション3と5に関しては、上り帯域と下り帯域の大きさが等しいため、上り帯域と下り帯域に重みの差を設ける必要はなく、従って、ステップS4、ステップS5のいずれであっても同じ値の評価値を算出する。

【0073】このようにして算出されたコネクションi ( $i=1\sim5$ ) の評価値をE<sub>i</sub>と表現すると、E<sub>1</sub>=150、E<sub>2</sub>=150、E<sub>3</sub>=140、E<sub>4</sub>=130、E<sub>5</sub>=10となる。

【0074】全てのコネクションについて評価値が算出されると(ステップS1)、経路選択部3の評価値記憶部3aには、全てのコネクションの評価値が一時記憶されている。

【0075】経路選択手段3では、iを「1」から順次「1」づつインクリメントしながら評価値が最も大きいものから順にコネクションiを選択して、そのコネクションを収容できるだけの残余帯域を持つ経路の中で最もコストの小さい経路を割り当てる処理を行う。ここでは、各リンクコストは全て「1」であるので、最もコストの小さい経路を選択するには、リンク数が最も少ない経路を選択すればよい。

【0076】まず、コネクション選択部3bにおいて、評価値記憶手段3aに記憶された評価値のうち、最も大きい( $i=1$ )値の評価値をもつコネクション1を選び(ステップS5～ステップS7)、ステップS8では、そのコネクション1を収容できるだけの残余帯域を持つ経路の中で最もコストの小さい経路、すなわち、この場合、図6の経路ABがコネクション1の経路として割り当てられる(ステップS8～ステップS10)。

【0077】次に、iが「1」インクリメントされて(ステップS11)、評価値記憶手段3aに記憶された評価値のうち、2番目に大きい( $i=2$ )値の評価値をもつコネクション2を選び(ステップS5～ステップS7)、ステップS8では、そのコネクション2を収容できるだけの残余帯域を持つ経路の中で最もコストの小さい経路をサーチする(ステップS8)。このとき、リンクABは、コネクション2の上りコネクションを収容す

20

るだけの残余帯域を持たないため、コネクション2には、経路ACBなる経路が選択されて、割り当てられる(ステップS9～ステップS10)。

【0078】次に、iが「1」インクリメントされて(ステップS11)、評価値記憶手段3aに記憶された評価値のうち、3番目に大きい( $i=3$ )値の評価値をもつコネクション3を選び(ステップS5～ステップS7)、ステップS8では、そのコネクション3を収容できるだけの残余帯域を持つ経路の中で最もコストの小さい経路をサーチする(ステップS8)。このとき、リンクACは、コネクション3のコネクションを収容するだけの残余帯域を持たないため、コネクション3の下りコネクションには、それ以外の経路で最もコストの小さい経路AEDCなる経路が選択されて、割り当てられる(ステップS9～ステップS10)。

【0079】次に、iが「1」インクリメントされて(ステップS11)、評価値記憶手段3aに記憶された評価値のうち、4番目に大きい( $i=4$ )値の評価値をもつコネクション4を選び(ステップS5～ステップS7)、ステップS8では、そのコネクション4を収容できるだけの残余帯域を持つ経路の中で最もコストの小さい経路をサーチする(ステップS8)。このとき、リンクCDは、すでに、コネクション3が割り当てられていて、コネクション4を収容するだけの残余帯域を持たないため、コネクション4には、リンクCDを使用していない経路の中で最もコストの小さい経路が選択されるわけだが、この場合、コネクション4を収容するための帯域をもつ経路が存在しないので、割り当てることができない(ステップS9)。

【0080】次に、iが「1」インクリメントされて(ステップS11)、評価値記憶手段3aに記憶された評価値のうち、5番目に大きい( $i=5$ )値の評価値をもつコネクション5を選び(ステップS5～ステップS7)、ステップS8では、そのコネクション5を収容できるだけの残余帯域を持つ経路の中で最もコストの小さい経路をサーチする(ステップS8)。このとき、経路CDには、すでに、コネクション3が割り当てられているものの、コネクション5を収容する残余帯域があるため、コネクション5には、経路CDが経路として割り当てられる(ステップS9～ステップS10)。

【0081】次にiが「1」インクリメントされると(ステップS11)、その値は、あらかじめ与えられたコネクション数( $i=5$ )より大きいので、ここで処理が終了し、各コネクション毎に割り当てられた経路を出力する(ステップS6、ステップS12)。

【0082】ここでは、コネクション選択部3bにおいて、評価値の等しいコネクション1と2に対してはコネクション番号の小さい順に選択されて、経路選択を行なったが、発ノード番号、着ノード番号、コネクションの優先度等の情報を用いてコネクションの経路選択のため

10

20

30

40

50

の順序を決定しても良い。

【0083】さて、ここで、重み $a_1$ 、 $a_2$ の値として、それぞれ「0.5」、「0.5」を用いた場合について考える。前述のように（図4のフローチャートに従って）、図7のコネクション1～5について評価値を算出すると、 $E1=80$ 、 $E2=75$ 、 $E3=140$ 、 $E4=75$ 、 $E5=10$ となる。この場合、図5のフローチャートに示したステップS7で、コネクション選択部3bで選択される順序は、コネクション3、1、2、4、5の順となる。

【0084】そして、図5のフローチャートに従って処理を行うと、コネクション3には経路AC、コネクション1には経路ABを、コネクション2には経路AEDB、コネクション4には経路CD、コネクション5には経路CDが、それぞれのコネクションに対する経路として割り当てられることになる。

【0085】次に、重み $a_1$ 、 $a_2$ の値として、それぞれ「0」、「1」を用いた場合について考える。前述のように（図4のフローチャートに従って）、図7のコネクション1～5について評価値を算出すると、 $E1=10$ 、 $E2=0$ 、 $E3=140$ 、 $E4=20$ 、 $E5=10$ となる。この場合、図5のフローチャートに示したステップS7で、コネクション選択部3bで選択される順序は、コネクション3、4、1、5、2の順となる。

【0086】そして、図5のフローチャートに従って処理を行うと、コネクション3には経路AC、コネクション4には経路CDを、コネクション1には経路AB、コネクション5には経路CD、コネクション2には経路AEDBが、それぞれのコネクションに対する経路として割り当てられることになる。

【0087】このように、重み $a_1$ 、 $a_2$ の値によっては、与えられた全てのコネクション1～5に対して、よりコストの小さい最適な経路が効率よく割り当てられることがわかる。

【0088】次に、第2の実施形態について説明する。

【0089】図8は、第2の実施形態に係る経路選択装置5の構成を概略的に示したものである。図8において、経路選択装置5は、パラメータ変更部6、評価値算出部7、経路選択部8、最良結果記憶部9とから構成される。

【0090】パラメータ変更部6は、所望のコネクションに対する最適な経路を選択する処理に必要な各種パラメータの値をあらかじめ保持し、あるいは、あらかじめ定められたアルゴリズムにてその値を変更して、各種パラメータ毎にそのパラメータの複数の値を管理し、必要に応じて評価値算出部7に出力するものである。パラメータとしては、例えば、重み $a_1$ 、 $a_2$ がある。

【0091】評価値算出部7は、所望のコネクションについて、経路を選択するために必要な情報、例えば、帯域、着ノードの識別情報等を含むコネクション情報が入

力され、あらかじめ定められた手順にて、そのコネクションについての評価値を算出するようになっている。

【0092】経路選択部8は、あらかじめ経路選択対象のネットワークに関する情報、例えば、そのネットワークのトポロジー、各リンクの容量、コスト等を含むネットワーク情報が入力されていて、この情報をもとに、モデル化された経路選択対象のネットワークについて、評価値算出部2で評価値が算出された各コネクションに対する最適な経路を割り当てる処理を行うものである。経路選択部8の具体的な構成例は、第1の実施形態における経路選択部3と同様である（図3参照）。

【0093】パラメータの値を変更しながら評価値算出部7、経路選択部9で所定の処理を行って得られる経路選択結果が、前回までの経路選択処理で得られた経路選択結果のうち最適な経路選択結果と比較されて、最良結果記憶部9には、より最適な経路選択結果のみが記憶されるようになっている。

【0094】図9は、評価値算出部7の構成を概略的に示したもので、帯域比較部7a、重み和算出部7b、第1の重み算出部7c、第2の重み算出部7dから構成される。

【0095】帯域比較部7aの動作は、第1の実施形態における帯域比較部2aの動作処理と同様である。

【0096】重み和算出部2bで評価値を算出する際に必要な各種パラメータは、パラメータ変更部6から必要に応じて出力されて、それらは、所定の記憶部に記憶される。例えば、重み $a_1$ 、 $a_2$ は、それぞれ、第1の重み算出部7c、第2の重み算出部7dに記憶される。

【0097】これらのパラメータ変更部6から出力されたパラメータ値をもとに重み和算出部7bでは、各コネクション毎に評価値を算出する。その詳細は、第1の実施形態における重み和算出部2bの処理動作と同様である。

【0098】次に、図10に示すフローチャートを参照して、図8の経路選択装置5の動作処理について説明する。なお、ここでは、第1の実施形態と異なる部分を主に説明する。

【0099】まず、パラメータ変更部6は、パラメータとして、重み $a_1$ 、 $a_2$ の値の初期値を評価値算出部7に出力する（ステップS20）。

【0100】評価値算出部7では、そのパラメータ値から与えられた各コネクションに対して評価値の計算を行なう。その詳細は、第1の実施形態における評価値算出部2の動作処理と同様である（ステップS21）。

【0101】次に、経路選択部8で、評価値の値が最も大きいものから順にコネクションを選択しながら、経路選択の処理を行なう。その詳細は、第1の実施形態における経路選択部3の動作処理と同様である（ステップS22）。この最初の経路処理終了の段階では、最良結果記憶部9には、まだ各コネクションについての他の経路

23

選択結果は記憶されていないため、ステップS23から直ちにステップS25に進み、経路選択結果を最良結果記憶部9に記憶する。

【0102】パラメータ変更部6は、次に用いるべきパラメータ値を判断し、それを評価値算出部7に出力する(ステップS26～ステップS27)。

【0103】評価値算出部7は、新たなパラメータを用いて、前回と同一のコネクションに対し再度評価値を計算し直し、経路選択部8で、その評価値の値が最も大きいものから順にコネクションを選択しながら、経路選択の処理を行なう(ステップS21～ステップS22)。

【0104】次に、この経路選択結果と最良結果記憶部9にすでに記憶されている各コネクション毎の経路選択結果とを比較し、今回の経路選択結果の方が最良結果記憶部9に記憶されている経路選択結果より望ましい結果であるときに、最良結果記憶部9の記憶内容を更新する(ステップS23～ステップS25)。

【0105】これを繰り返すことにより、最終的に最良結果記憶部9に記憶されている経路選択結果を出力することにより(ステップS28)、パラメータ値、すなわち、重み $a_1$ 、 $a_2$ の値を一つ用いる場合よりも、良い結果を得ることができる。

【0106】図10のステップS24で、新たに得られた経路選択結果と最良結果記憶部9に記憶されている内容を比較して、どちらがより望ましいかを判定するために、経路評価関数を用いる。

【0107】経路評価関数は、(a)経路を割り当てることのできなかったコネクションの数、(b)リンクの使用率の最大値、(c)リンクの使用量とリンクのコストの積を全てのリンクについて足し合わせたもの、等を考慮し、これらの各値が小さい経路選択結果ほど望ましい結果、すなわち、最適な結果であるとするものである。

【0108】また、最良結果記憶部9は、記憶すべき結果として経路選択結果そのものを記憶しておいてもよいが、記憶容量に制限がある場合には、最良結果を与えるパラメータ(ここでは、例えば、重み $a_1$ 、 $a_2$ の値)を記憶しておき、最終的な経路選択結果を出力する時に、その最良結果記憶部9が記憶するパラメータを用いて経路選択処理を行ない、この結果を出力するようにしてもよい。

【0109】具体例として、図6に示したネットワークにおいて、図7に示した各コネクションの経路選択を図10のフローチャートに従って行ってみる。ここでは、第1の重みの値 $a_1$ をパラメータとし、第2の重みの値 $a_2$ を $a_2 = 1 - a_1$ とし、コネクションの評価値Eを式(3)から求めることにする。さらに、経路評価関数として、経路を割り当てることのできなかったコネクシ

24

\* ョンの数を基準にするものを用いる。パラメータの値 $a_1$ は「1」、「0.5」、「0」を用いることにする。

【0110】まず、パラメータ変更部6は、パラメータとしての重み $a_1$ の値「1」を評価値算出部7に出力する(ステップS20)。このとき、第2の重み $a_2$ の値は「0」となり、その場合に経路選択処理を行なうと、前述同様に、コネクション4に経路を割り当てることができなくなり、経路評価関数は「1」となる(ステップS21～ステップS22)。

【0111】最良結果記憶部9には、まだ何も記憶されていないので、この経路選択結果を記憶する(ステップS23～ステップS25)。

【0112】次に、パラメータ変更部6は、パラメータとしての重み $a_1$ の値「0.5」を評価値算出部7に出力する(ステップS20)。このとき、第2の重み $a_2$ の値は「0.5」となり、その場合に経路選択を行なうと、前述同様に、全てのコネクションに経路を割り当てることができ、経路評価関数は「0」となる(ステップS21～ステップS22)。そのとき最良結果記憶部9に記憶されている経路選択結果よりも新たな経路選択結果の方が望ましいため、最良結果記憶部9の内容を更新する(ステップS23～ステップS25)。

【0113】さらに、パラメータ変更部6は、パラメータとしての重み $a_1$ の値「0」を評価値算出部7に出力する(ステップS20)。このとき、第2の重み $a_2$ の値は「1」となり、その場合に経路選択を行なうと、前述同様に、全てのコネクションに経路を割り当てることができ、経路評価関数は「0」となる(ステップS21～ステップS22)。この場合、最良結果記憶部9に記憶されている結果と同じ経路選択結果が得られてので、最良結果記憶部9の更新は行なわない(ステップS23～ステップS25)。

【0114】以上の処理により最終的に出力される経路選択結果は、 $a_1 = 0.5$ 、 $a_2 = 0.5$ の場合の経路選択結果である(ステップS28)。

【0115】評価値算出部7は、上記説明では、パラメータとして重み $a_1$ 、 $a_2$ の値をパラメータ変更部6から受け取って、式(3)から評価値を算出するとしたが、この場合に限らず、パラメータ変更部6から乱数の種を受け取り、コネクションの評価値として乱数値を用いることも考えられる。

【0116】また、パラメータとして乱数の最大値と乱数の種を受け取り、コネクションの評価値として乱数値を用いてもよい。

【0117】さらに、パラメータとして第1の重みの値 $a_1$ と第2の重みの値 $a_2$ の値と乱数の種を受けとり、コネクションの評価値Eを

$$E = a_1 \cdot \max(W_{op}, W_{ooo}) + a_2 \cdot \min(W_{op}, W_{ooo}) + r \quad \dots (8)$$



25

から求めるようにしてもよい。

【0118】ただし、 $r$ は乱数の種より生成される乱数の値である。この場合、乱数値 $r$ は十分小さいことが望ましい。

【0119】このようにコネクションの評価値を計算する際にコネクションの帯域だけではなく乱数値を用いることにより、次の2つの効果がある。

【0120】第1の効果は、帯域を同じくするコネクションに異なる評価値を与えられることである。例えば、図6に示したようなネットワークに、図11に示すような各コネクションの経路を選択する場合を例にとり説明する。

【0121】乱数値 $r$ を用いずに図11に示したコネクションの評価値を式(3)から求めると、全てのコネクションに同じ評価値が求められる。そのため、経路選択部8では、例えば、コネクション番号の小さい順に経路選択処理を施す。

【0122】この場合、図11のコネクション1～3に図6の経路BAEを経路として割り当て、コネクション4～6に経路ACDEを経路として割り当てることとなり、コスト高な経路選択結果となってしまう。

【0123】乱数値 $r$ を用いて式(8)から各コネクションの評価値を求めると、コネクション4～6がコネクション1～3よりも大きな評価値を得る可能性が生じ、そのためコネクション4～6をコネクション1～3よりも先に設定する可能性が生じる。それにより、より良い経路選択結果が得られる。

【0124】乱数値 $r$ を用いることにより得られる第2の効果は、複数のパラメータの値を用いて経路選択を行ない最も良い経路選択結果を最終結果とする時、帯域を同じくするコネクションが多数存在する場合に乱数値 $r$ を用いないと、各パラメータの値に対して同じ経路選択結果が得られる可能性が高い。それに対して、乱数値 $r$ を用いると、各パラメータの値に対して異なる経路選択結果を得ることができ、より良い最終結果が得られる。

【0125】このように、乱数値 $r$ を用いることにより経路選択性能の向上が期待できる。

【0126】また、乱数値 $r$ は帯域を同じくする経路選択対象のコネクションが多数存在する場合に効果を表すが、そうでない場合に帯域を用いた評価値計算に乱数値 $r$ が大きな影響を与えないようにするため、乱数値 $r$ は小さな値に設定することが望ましい。

【0127】以上、説明したように、上記第1～第2の実施形態によれば、双方向コネクションに評価値と呼ぶ数値を求め、この数値を用いて、双方向コネクションの経路選択を行うことができるので、同じ双方向コネクションに属する上りコネクションと下りコネクションが同じ経路を通るという条件のもとに最適な経路選択を効率的に行える。

【0128】また、上記第1の実施形態によれば、経路

26

選択装置1の評価値算出部2は、各双方向コネクションに対してその双方向ペアをなす上りコネクションの帯域と下りコネクションの帯域を用いて一つの評価値を算出し、経路選択部3は、この評価値を基に双方向ペアをなす上りコネクションと下りコネクションがあたかも1本のコネクションであるかのように経路を決定するため、双方向ペアをなす上りコネクションと下りコネクションに同じ経路を割り当てることができる。

【0129】また、評価値算出部2は、各双方向コネクションに対してその双方向ペアをなす上りコネクションの帯域と下りコネクションの帯域の大小比較を行ない、大きいと判断された帯域の値に第1の重みを乗算したものと、小さいと判断された帯域の値に第2の重みを乗算したものとを加算することによりスカラー量の評価値を求め、経路選択部3では、その評価値の大きい順で双方向コネクションの経路決定を行なう順序を決定するが、その際、評価値がスカラー量であるため、簡単に評価値の大小比較を行なうことができる。

【0130】さらに、経路選択部3は評価値の大きい順に双方向コネクションの経路をその最短経路(すなわち、最小コストの経路)で決定していけばよいため、高速に処理を行なうことができる。

【0131】また、上記第2の実施形態によれば、経路選択装置5のパラメータ変更部6にパラメータの値を複数用意しておき、各パラメータの値に対して、評価値算出部7で各双方向コネクションの評価値を算出し、この評価値を基に経路選択部8で経路の決定を行ない、複数のパラメータの値を用いて経路選択を繰り返し行なった結果、最良のものを見つけて最良結果記憶部9に、その最良の結果を与えるパラメータの値を記憶しておくことにより、例えば、第1の実施形態のように、1つのパラメータの値を用いる場合よりも、より適した経路の選択結果が得られる。

【0132】もちろん、最良結果記憶部9は、最良結果を与えるパラメータの値を記憶するのではなく、最良結果を与えるパラメータの値を用いて経路選択を行なった場合の各双方向コネクションの経路を記憶するようにしてもよい。

【0133】次に、第3の実施形態について説明する。ここでは、片方向コネクションに対して経路選択を行う場合について説明する。

【0134】図12は、第3の実施形態に係る経路選択装置100の構成を示したものである。経路選択装置100は、経路探索部101、帯域予約部102、経路決定部103から構成されている。

【0135】経路探索部101には、ネットワークトポロジー、リンク容量等の経路の選択対象としてのネットワークをモデル化するに足る情報を含むネットワーク情報と、各コネクションの発着ノード、帯域、許容最大ホップ数、経路の好悪等の情報を含むコネクション情報

10

20

30

40

50



27

が入力されて、対象となるネットワークに各コネクションに対して、その要求に適合する経路を全て求め、経路情報として帯域予約部102に出力するようになっている。

【0136】例えば、経路探索部101は、コネクションの帯域がリンク容量よりも大きい場合には、そのリンクを通る経路は無視する。また、コネクションが情報伝送にかかる遅延に要求値を持つ場合には、要求遅延量よりも遅延が大きくなるような経路は無視する。このようにして、各コネクションに対して割り当てるべきでないあるいは割り当てる可能性のない経路を、経路探索部101が無視することにより、以後の処理に必要な計算量を小さくすることができる。

【0137】帯域予約部102は、経路探索部101により得られた経路情報を用いて、各コネクションに対して、その通り得る経路上のリンクにそのコネクションの帯域を予約していく。あるコネクションのとり得る経路の中で2つ以上の経路が同じリンクを共有する場合、一度帯域を予約したリンクにはそれ以上の予約を禁止しても良いが、何度も同じコネクションの帯域の予約を繰り返しても良い。

【0138】図13を参照して、帯域予約部102の帯域予約方法について説明する。図13では、ノード装置A～Eと、そのノード間を伝送路としてのリンク1～5により接続して構成されるネットワークを示している。ノードAからノードBにはリンク1が設けられ、ノードBからノードCにはリンク2が設けられ、ノードCからノードDにはリンク3が設けられ、ノードBからノードEにはリンク4が設けられ、ノードEからノードDにはリンク5が設けられている。

【0139】例えば、図13のネットワークに発ノードAで着ノードがDのコネクションを1本張る場合を考える。このコネクションのとり得る経路として、経路A→B→C→Dと経路A→B→E→Dの2つの経路があり、リンク1は2つの経路に共有されている。このとき、帯 \*

$$V_{kl} = \frac{(\text{コネクション}k\text{の要求遅延}) - (\text{経過}l\text{の遅延})}{(\text{経過}l\text{のコスト})} \dots (9)$$

経路選択部112は、評価値 $V_{kl}$ の大きい順に $a$  ( $\geq 1$ ) 本のコネクションに経路を割り当てる。つまり、経路選択部112は、式(9)を最大にするコネクションを $m$ 、経路を $i$ とすると、コネクション $m$ に経路 $i$ を割り当て、次にコネクション $m$ を除いて式(9)を最大にするコネクション $m'$ と経路 $i'$ を求め、コネクション $m'$ に経路 $i'$ を割り当てる。 $a$ 本のコネクションに経路を割り当てたら、設定されたコネクションの予約帯域をその経路上にないリンクから取り除き、第1の溢れ帯域の値を再計算する。全てのコネクションの経路を、同様の操作を繰り返すことにより決定する。

【0146】また、経路選択部112は、帯域の大きい

28

\* 域予約部102は、リンク1に、2重にコネクションの帯域を予約してもよいが、一度帯域を予約すると以後の予約を禁止してコネクション1本分の帯域を予約してもよい。

【0140】経路決定部103は、帯域予約部102で得られた帯域予約情報を用いて、各コネクションの経路を決定して、その結果(経路選択結果)を出力するようになっている。

【0141】図14は、第3の実施形態に係る経路選択装置100の経路決定部103の構成例を示したものである。経路決定部103は、第1の溢れ帯域算出部110、評価値算出部111、経路選択部112から構成されている。

【0142】第1の溢れ帯域算出部110は、帯域予約部102から出力された帯域予約情報と、リンク容量等のネットワーク情報を用いて各リンクから予約帯域が溢れる量である第1の溢れ帯域を求めるようになっている。

【0143】評価値算出部111は、第1の溢れ帯域算出部110で求められた第1の溢れ帯域と、ネットワークポロジ、リンク容量等のネットワーク情報と、各コネクションの発着ノード・帯域・許容最大ホップ数・経路の好悪等のコネクション情報を用いて各コネクションを設定する経路に対する評価値を求めるようになっている。

【0144】例えば、評価値算出部111は、各リンクの第1の溢れ帯域の量と各リンク毎に定義された定数を掛け合わせるにより各リンクのコストを定義し、経路のコストを経路上のリンクコストの和として計算し、コネクションが要求する遅延量と経路が保証する遅延量との差を経路のコストで割ることにより、評価値を求める。つまり、コネクション $k$ を経路 $l$ に設定する評価値を $V_{kl}$ とすると、 $V_{kl}$ は次のように求める。

【0145】

【数3】

順に $a$  ( $\geq 1$ ) 本のコネクションを選び、各コネクションに対して最大の評価値を持つ経路を割り当ててもよい。また、経路選択部112は、予め与えられる優先度の大きい順に $a$  ( $\geq 1$ ) 本のコネクションを選び、各コネクションに対して最大の評価値を持つ経路を選択してもよい。また、評価値算出部111は、第1の溢れ帯域の値が「0」となったリンクには、第1の溢れ帯域の値の代わりに予め与えられた定数を用いてコストを計算してもよい。

【0147】この第3の実施形態では、評価値を求め評価値の大きい順にコネクションの経路を決定しているが、評価値の代わりにコストを求めコストの小さい順に

コネクションの経路を決定することも可能である。

【0148】図15は、第3の実施形態に係る経路選択装置100の動作処理を説明するためのフローチャートである。

【0149】図15において、まず、経路探索部101は、各コネクションの取り得る経路を全てサーチし（ステップS50）、経路情報として帯域予約部102に出力する。帯域予約部102は、各コネクションの帯域をそのとり得る経路上のリンクに予約し（ステップS51）、第1の溢れ帯域算出部110は、帯域予約部102から出力された帯域予約情報と、リンク容量等のネットワーク情報を用いて各リンクから予約帯域が溢れる量である第1の溢れ帯域を求め（ステップS52）、評価値算出手段111は、第1の溢れ帯域算出部110で求められた第1の溢れ帯域等をもとに、式(9)から評価値を算出し（ステップS53）、経路選択部112は、評価値 $V_i$ の大きい順に $a$  ( $\geq 1$ ) 本のコネクションに経路を割り当てる（ステップS54）。経路が未決定のコネクションが存在したら（ステップS55）、設定されたコネクションの予約帯域をその経路上にないリンクから取り除き、第1の溢れ帯域の値を再計算する（ステップS56）。

【0150】図16に示すようなネットワークについて、図17に示す各コネクションの経路を選択する場合を例にとり、図15のフローチャートに示した経路選択処理について具体的に説明する。

【0151】図16には、ノード装置A～Eと、そのノード間を伝送路としてのリンク1～5により接続して構成されるネットワークを示している。ノードAからノードBにはリンク1が設けられ、ノードBからノードCにはリンク2が設けられ、ノードAからノードDにはリンク3が設けられ、ノードDからノードCにはリンク4が設けられ、ノードDからノードEにはリンク5が設けられている。

【0152】説明を簡単にするため、リンクのコストを第1の溢れ帯域の量で定義し、コネクションの遅延に関する要求を考慮に入れないこととする。また、評価値の大きい順にコネクションとその経路を選ぶ代わりに、コストの小さい順にコネクションとその経路を選択する。また、各リンクの容量は全て150Mbpsとする。

【0153】まず、図17に示した各コネクション $i$  ( $i=1\sim 4$ ) のとり得る経路を求める（ステップS50）。発ノードがAで着ノードがCであるコネクション1と2がとり得る経路は経路A→B→Cと経路A→D→Cであり、発ノードがAで着ノードがEであるコネクション3がとり得る経路は経路A→D→Eであり、発ノードがDで着ノードがEのコネクション4がとり得る経路は経路D→Eである。

【0154】次に、コネクションの帯域を各リンクに予約していく（ステップS51）。その結果としての帯域

の予約状況を図18に示す。すなわち、図17のコネクション1については、そのとり得る経路は経路ABCと経路ADCであるので、リンク1～4にそれぞれ10Mbpsが予約される。図17のコネクション1については、そのとり得る経路は経路ABCと経路ADCであるので、リンク1～4にそれぞれ10Mbpsが予約される。図17のコネクション3については、そのとり得る経路は経路ADEであるので、リンク3とリンク5にそれぞれ145Mbpsが予約される。図17のコネクション4については、そのとり得る経路は経路DEであるので、リンク5に5Mbpsが予約される。

【0155】次に、各リンクにおける第1の溢れ帯域を計算する（ステップS52）。図18に示した各リンクにおける予約状況から、リンク1～5には、それぞれ、20Mbps、20Mbps、165Mbps、20Mbps、150Mbpsの帯域が予約されていることが分かる。さて、ここで、リンク $m$  ( $m=1\sim 5$ ) の溢れ帯域の量を $\xi_m$  で示し、第1の溢れベクトル $O=$

$\{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_5\}$  を定義すると、各リンクの容量が150Mbpsであることから、図18より明らかのように、 $O=\{0, 0, 15, 0, 0\}$  となる。すなわち、この例では、予約帯域の合計値からリンク容量を引いた値を溢れ帯域としている。

【0156】しかし、実際にリンク3に収容することのできる予約帯域の組合せは「コネクション1、コネクション2」または「コネクション3」である。そのため、リンクに収容できない帯域の和という意味において第1の溢れ帯域を145Mbpsあるいは20Mbps ( $=10+10$ ) として求めてもよい。つまり、リンク容量と個々の予約帯域とからナップザック問題を解き、リンクに入らなかった予約帯域の和を求めることにより第1の溢れ帯域としてもよい。

【0157】次に、この第1の溢れ帯域をもとに、各コネクションについての評価値を求める（ステップS53）。なお、ここでは、リンクのコストを第1の溢れ帯域の量で定義し、そのコストの小さい順にコネクションとその経路を選択するものとしている。

【0158】すなわち、ステップS54では、コストの小さい順に $a$  本のコネクションをその経路に設定する。ここでは、 $a=1$  として1本のコネクションを張る毎にステップS56で第1の溢れ帯域を計算し直すものとする。コネクション1に経路A→B→Cを設定したとするとその経路のコストは「0」であり、経路A→D→Cを設定したとするとその経路のコストは「15」である。コネクション2に経路A→B→Cを設定したとするとその経路のコストは「0」であり、経路A→D→Cを設定したとするとその経路のコストは「15」である。コネクション3に経路A→D→Eを設定したとするとその経路のコストは「15」であり、コネクション4に経路D→Eを設定したとするとその経路のコストは「0」であ

る。

【0159】これらの中で最小コストの経路を探す。コスト「0」の経路が3つあるのでその中の一つを選び、エネクション1に経路A→B→Cを設定したものとする。すると、ステップS56で、第1の溢れ帯域を計算し直す。この時、経路A→D→Cに予約したエネクション1の帯域を取り除き、経路A→B→C上のリンク容量をエネクション1の帯域の分だけ減じる。その結果、第1の溢れ帯域Oは、 $O = \{0, 0, 5, 0, 0\}$  となる。同様に、エネクション2に経路A→B→Cを割り当てる。そして、第1の溢れ帯域を計算し直し、 $O = \{0, 0, 0, 0, 0\}$  を得る。同様の繰り返しにより、エネクション3に経路A→D→Eを設定し、エネクション4に経路D→Eを設定する。

【0160】ここでは、全てのエネクションの全ての経路のコストを一旦計算し、その最小コストの経路を選んだが、帯域が最大であるエネクションをまず選び、選ばれたエネクションをその最小コスト経路に設定するようにしてもよい。

【0161】次に、第4の実施形態について説明する。

【0162】この第4の実施形態における経路選択装置1では、経路決定部103の構成が第3の実施形態と異なる。

【0163】図19は、図12の経路決定部103の他の構成例を示したもので、第2の溢れ帯域算出部120、評価値算出部121、経路選択部122から構成される。

【0164】第2の溢れ帯域算出部120は、エネクションのある経路に設定したと仮定し、そのエネクションの予約帯域をその経路上以外のリンクから取り除いた場合に、リンクから予約帯域が溢れる量である第2の溢れ帯域を、全てのエネクションの全ての経路に対して求める。

【0165】評価値算出部121は、全てのエネクションの全ての経路に対して、第2の溢れ帯域とリンク毎に定義された定数との重み和によりコストを定義する。評価値算出部121は、このコストの逆数により評価値を求める。

【0166】経路選択部122は、少なくとも1本のエネクションを評価値の大きい順に経路に決定していく。経路の決定したエネクションの予約帯域は、その経路上以外のリンクから取り除く。以後、この操作を全てのエネクションの経路が決定するまで繰り返す。

【0167】評価値算出部121は、コストの逆数で評価値を求める代わりに、あるエネクションがある経路を通過する場合に得られる利得を定義し、この利得をコストで割ることにより評価値を求めても良い。評価値算出部121は、全てのリンクに対して第2の溢れ帯域の値が「0」である場合には、経路のコストとして予め与えられる定数を用いてもよい。

【0168】図20は、第4の実施形態に係る経路選択装置100の動作処理を説明するためのフローチャートである。

【0169】まず、経路探索部101は、各エネクションの取り得る経路を全てサーチし（ステップS60）、その結果を経路情報として帯域予約部102に出力する。

【0170】帯域予約部102は、各エネクションの帯域をそのとり得る経路上のリンクに予約し（ステップS61）、第2の溢れ帯域算出部120は、エネクションのある経路に設定したと仮定し、そのエネクションの予約帯域をその経路上以外のリンクから取り除いた場合に、リンクから予約帯域が溢れる量である第2の溢れ帯域を、全てのエネクションの全ての経路に対して求める（ステップS62）。

【0171】評価値算出部121は、第2の溢れ帯域を用いて評価値を算出し（ステップS63）、その算出された評価値の大きい順に、経路選択部122で、エネクションの経路を選択し（ステップS64）、全てのエネクションの経路が決定するまで（ステップS65）、帯域予約情報を変更しながら（ステップS66）、ステップS62～ステップS65の処理を繰り返す。

【0172】図16に示すようなネットワークについて、図17に示す各エネクションの経路を選択する場合を例にとり、図20のフローチャートに示した経路選択処理について具体的に説明する。

【0173】まず、図17に示した各エネクション*i* ( $i = 1 \sim 4$ ) のとり得る経路を求め（ステップS60）、エネクションの帯域を各リンクに予約していく（ステップS61）。その結果としての帯域の予約状況を図18に示す。また、このとき、サーチされた、取り得る経路を図21に示す。すなわち、図21において、経路A→B→Cには経路番号1が付され、経路A→D→Cには経路番号2が付され、経路A→D→Eには、経路番号3が付され、経路D→Eには経路番号4が付されている。

【0174】次に、第2の溢れ帯域算出部121で第2の溢れ帯域を算出する（ステップS62）。ここで、エネクション*k*を経路番号1の経路に設定したと仮定した場合の第2の溢れ帯域を $O_{k1}$ と記述することにする。図17のエネクション1を図21の経路番号1の経路に設定したと仮定し、経路番号2の経路上の帯域からエネクション1の予約帯域を取り除き、第2の溢れ帯域を求めると $O_{11} = \{0, 0, 5, 0, 0\}$  となる。

【0175】エネクション1を経路番号2の経路に設定したと仮定し、経路番号1の経路上の帯域からエネクション1の予約帯域を取り除き、第2の溢れ帯域を求めると $O_{12} = \{0, 0, 15, 0, 0\}$  となる。

【0176】エネクション2についても同様に $O_{21} = \{0, 0, 5, 0, 0\}$ 、 $O_{22} = \{0, 0, 15, 0,$

0} となる。

【0177】コネクション3に経路番号3の経路を設定したと仮定すると、コネクション3は他にとり得る経路がないため取り除くべき予約帯域は存在せず、第2の溢れ帯域は $O_{23} = \{0, 0, 15, 0, 0\}$ となる。

【0178】コネクション4についても同様に第2の溢れ帯域を求めると $O_{41} = \{0, 0, 15, 0, 0\}$ となる。

【0179】次に、第2の溢れ帯域 $O_{k1}$ より評価値 $V_{k1}$ を次式で求める(ステップS63)。

【0180】

【数4】

$$V_{k1} = \frac{C_{k1}}{|O_{k1}|} \quad \dots (10)$$

但し、 $C_{k1}$ は、コネクション $k$ を経路1に張る時に得られる利得を表す。ここでは、簡単のため $C_{k1} = (\text{コネクション}k\text{の帯域})$ とする。もちろん、 $C_{k1}$ はコネクション毎、経路毎に異なる値をとってもよい。

【0181】式(10)を用いて算出された評価値を列挙すると、 $V_{11} = 10/5$ 、 $V_{12} = 10/15$ 、 $V_{21} = 10/5$ 、 $V_{22} = 10/15$ 、 $V_{33} = 145/15$ 、 $V_{41} = 5/15$ となる。

【0182】次に、図20のフローチャートのステップS64の処理において、 $a=2$ とすると、コネクション1が経路番号1の経路に、コネクション3が経路番号3の経路にコネクションが設定されることになる。

【0183】次に、帯域予約情報を変更する(ステップS66)。つまり、コネクション1の予約帯域を経路番号1の経路以外のリンク(リンク3、リンク4)から取り除く。

【0184】そして、ステップS62に戻り、経路の決定していないコネクションに対して第2の溢れ帯域を求める。すると、 $O_{21} = \{0, 0, 0, 0, 0\}$ 、 $O_{22} = \{0, 0, 5, 0, 0\}$ 、 $O_{41} = \{0, 0, 5, 0, 0\}$ となる。 $O_{41} = \{0, 0, 0, 0, 0\}$ のとき、式(10)を用いて評価値を求めることはできないため、 $V_{k1} = C_{k1}$ で評価値を求めることにする(ステップS63)。その結果、 $V_{21} = 10$ 、 $V_{22} = 10/5$ 、 $V_{41} = 5/5$ となり、コネクション2が経路番号2の経路に、コネクション4が経路番号4の経路に設定されることになる(ステップS64)。

【0185】この例では、全てのコネクションの全ての経路に対して第2の溢れ帯域を求め評価値を求めているが、計算量を削減するために、利得の大きい順にコネクションを少なくとも1本のコネクションを選び、選ばれたコネクションに対してのみ評価値を求めてもよい。

【0186】次に、第5の実施形態について説明する。

【0187】この第5の実施形態における経路選択装置1では、経路決定部103の構成が第3の実施形態と異

なる。

【0188】図22は、図12の経路決定部103のさらに他の構成例を示したもので、第1の溢れ帯域算出部130、第2の溢れ帯域算出部131、評価値算出部132、経路選択部133から構成される。

【0189】第1の溢れ帯域算出部130は、帯域予約情報と、リンク容量等のネットワーク情報を用いて各リンクから予約帯域が溢れる量である第1の溢れ帯域を求めるものである。

10 【0190】第2の溢れ帯域算出部131は、全てのコネクションの全ての経路に対して、コネクションがある経路を通ったものと仮定し、その経路上にないリンクからそのコネクションの予約帯域を取り除いた場合に、予約帯域がリンクから溢れる量である第2の溢れ帯域を求めるものである。

【0191】評価値算出部132は、第1の溢れ帯域と第2の溢れ帯域とネットワーク情報とコネクション情報から各コネクションとその経路に対して評価値を算出するようになっている。

20 【0192】経路選択部133は、評価値算出部132で算出された評価値に従いコネクションに経路を設定するものである。

【0193】図23は、第5の実施形態に係る経路選択装置100の動作処理を説明するためのフローチャートである。

【0194】まず、経路探索部101が各コネクションの取り得る経路を全てサーチし(ステップS70)、その結果を経路情報として帯域予約部102に出力する。

30 【0195】帯域予約部102は、各コネクションの帯域をそのとり得る経路上のリンクに予約し(ステップS71)、第1の溢れ帯域算出部130は、帯域予約部102から出力された帯域予約情報と、リンク容量等のネットワーク情報を用いて各リンクから予約帯域が溢れる量である第1の溢れ帯域を求め(ステップS72)、さらに、第2の溢れ帯域算出部131は、経路が未決定で第2の溢れ帯域をまだ求めているコネクションを1本選び(ステップS73)、そのコネクションが通り得る各経路に対して、第2の溢れ帯域を求める(ステップS74)。

40 【0196】全ての経路未決定のコネクションに対し第2の溢れ帯域を算出したら(ステップS75)、次に、評価値算出部132は、経路未決定の全てのコネクションの全ての経路に対する評価値を第1の溢れ帯域と第2の溢れ帯域とを用いて求める(ステップS76)。

50 【0197】経路選択部133は、算出された評価値を最大とするコネクションと経路を求め、そのコネクションをその経路に設定する(ステップS77)。経路未決定のコネクションが存在するときは、再びステップS72に戻り、全てのコネクションに対し経路が設定されるまで、ステップS72～ステップS78の処理を繰り返

す。

【0198】図16に示すようなネットワークにおいて、図17に示す各コネクシオンの経路を選択する場合を例にとり、図23のフローチャートに示した経路選択処理について具体的に説明する。

【0199】まず、図17に示した各コネクション $i$  ( $i=1\sim 4$ ) のとり得る経路を求め (ステップS70)、コネクシオンの帯域を各リンクに予約していく (ステップS71)。その結果としての帯域の予約状況を図18に示す。

【0200】このとき、第1の溢れ帯域を求めると $O = \{0, 0, 15, 0, 0\}$  となる (ステップS72)。

【0201】次に、第2の溢れ帯域を求める (ステップS73)。記述を簡単にするため、サーチされた、取り得る経路を図21に示す。また、コネクション $k$  を経路1に設定したと仮定した場合の第2の溢れ帯域を $O_{k1}$  と記述することにする。

【0202】コネクション1を経路番号1の経路に設定したと仮定し、経路番号2の経路上のコネクション1の予約帯域を取り除き、第2の溢れ帯域を求めると $O_{11} = *20$

$$V_{k1} = C_{k1} (O \cdot (O - O_{k1}))$$

と計算できる。ただし、 $O \cdot O'$  はベクトル $O$ とベクトル $O'$ との内積を表し、 $C_{k1}$ はコネクション $k$ を経路1に設定する時に得られる利得である。また、評価値 $V_{k1}$  ※

$$V_{k1} = (O \cdot (O - O_{k1})) / K_{k1}$$

として求めても良い。

【0208】ここでは、コスト $K_{k1}$ をコネクション $k$ の帯域と経路のホップ数との積として定義し、評価値を式(12)で計算する。すると、

$$V_{11} = (15 \times 10) / (2 \times 10) = 15 / 2$$

$$V_{12} = 0 / (2 \times 10) = 0$$

となる。

【0209】コネクション2、3、4に対しても同様に、

$$V_{21} = (15 \times 10) / (2 \times 10) = 15 / 2$$

$$V_{22} = 0 / (2 \times 10) = 0$$

$$V_{33} = 0 / (2 \times 145) = 0$$

$$V_{44} = 0 / 5 = 0$$

となる。

【0210】次に、ステップS77に進み、評価値の最大値を探すと $V_{11} = V_{21} = 15 / 2$ であることがわかる。そこで、コネクション1に経路番号1の経路を設定する。

【0211】さらに、ステップS72に進み、第1の溢れ帯域を再計算する。すなわち、経路番号2の経路上のリンクに予約されたコネクション1の予約帯域を取り除き、経路1上のリンクの容量をコネクション1の帯域の分だけ減じる。その後、各リンクから溢れる予約帯域の量を求めると、 $O = \{0, 0, 5, 0, 0\}$  となる。

【0212】第2の溢れ帯域を同様にして求めると、 $O$

\*  $\{0, 0, 5, 0, 0\}$  となる。

【0203】コネクション1を経路番号2の経路に設定したと仮定し、経路番号1の経路上のコネクション1の予約帯域を取り除き、第2の溢れ帯域を求めると $O_{12} = \{0, 0, 15, 0, 0\}$  となる。

【0204】コネクション2についても同様に $O_{21} = \{0, 0, 5, 0, 0\}$ 、 $O_{22} = \{0, 0, 15, 0, 0\}$  となる。

【0205】コネクション3に経路番号3の経路を設定したと仮定すると、コネクション3は他にとり得る経路がないため取り除くべき予約帯域は存在せず、第2の溢れ帯域は $O_{33} = \{0, 0, 15, 0, 0\}$  となる。

【0206】コネクション4についても同様に第2の溢れ帯域を求めると $O_{44} = \{0, 0, 15, 0, 0\}$  となる。

【0207】次に、ステップS76に進み、各コネクシオンの全ての経路に対する評価値を求める。コネクション $k$ を経路1に設定した時の評価値を $V_{k1}$ と書くことにすると、 $V_{k1}$ は、

$$\dots (11)$$

※は、コネクション $k$ を経路1に決定するために必要なコスト $K_{k1}$ を用いて、

$$\dots (12)$$

$z_1 = \{0, 0, 0, 0, 0\}$ 、 $O_{22} = \{0, 0, 5, 0, 0\}$ 、 $O_{33} = \{0, 0, 5, 0, 0\}$ 、 $O_{44} = \{0, 0, 5, 0, 0\}$  となる (ステップS73～ステップS74)。

【0213】評価値を求めると、 $V_{21} = 5 / 20$ 、 $V_{22} = 0$ 、 $V_{44} = 0$  となり (ステップS76)、最大の評価値は $V_{21}$ であるため、コネクション2に経路番号1の経路を設定する。

【0214】以後、同様の繰り返しにより、コネクション3に経路番号3の経路を、コネクション4に経路番号4の経路を設定する。

【0215】なお、ここでは、コネクションを1本張る毎に第1の溢れ帯域の計算を行なっているが、計算量を減少させるために $a$  ( $> 1$ ) 本コネクションを張るまでは第1の溢れ帯域の再計算を行わず、 $a$ 本のコネクションを張る毎に第1の溢れ帯域の再計算を行なってもよい。また、ここでは、全てのコネクションの全ての経路に対して評価値の計算を行なっているが、計算量を減少させるために、コネクションの優先度・帯域等の情報から評価値を求めるコネクションを制限してもよい。

【0216】例えば、図24に示すネットワークを考える。図24は、図16に示したネットワークに、さらに、ノードAとノードDの間にリンク6を張り、ノード間に2本のリンク (リンク3とリンク6) が張られている場合を示している。このとき、リンク3とリンク6を

37

論理的に1本のリンクであると考え帯域の予約を行なう。そして、第1あるいは第2の溢れ帯域を求める時は、既に経路の決定したコネクションの帯域と予約帯域の和からリンク容量の和を引くことにより溢れ帯域を求めることができる。あるいは、既に経路の決定したコネクションの帯域は必ずどれかのリンクに収容されるという条件の下にナップザック問題を解くことにより溢れ帯域を求めてもよい。

【0217】以上、説明したように、上記第3～第5の実施形態によれば、経路探索部101により各コネクションのとり得る経路を全て探索し、帯域予約部102で各コネクションの帯域を経路探索部101により求められた経路上のリンクに予約して、経路決定部103は、この予約状況を経路選択のための情報として用いてコネクションの経路を決定していくことにより、高い近似精度で経路選択問題を解くことが可能となる。すなわち、各コネクションに対して、その帯域をそのコネクションの取り得る全ての経路に予約し、溢れ帯域と呼ぶ各リンクから溢れる予約帯域の量を求め、この溢れ帯域をなるべく減らすようにコネクションの経路を決定することができるので、過度にリンクの負荷を分散することなく、経路選択問題の精度のよい近似解を得ることができる。

【0218】また、上記第3の実施形態によれば、各リンク毎に予約された帯域の中でリンクに収容することのできない帯域である第1の溢れ帯域の量を経路決定部103が用いることにより、各リンクから溢れる可能性のある帯域の量を知ることができ、この第1の溢れ帯域を減らすようにコネクションの経路を決定していくことにより、高い近似精度で経路選択問題を解くことが可能となる。

【0219】また、上記第4の実施形態によれば、あるコネクションがある経路を通ったものと仮定し、その経路上にないリンクからそのコネクションの予約帯域を取り除いた場合に、各リンクに収容できない可能性のある帯域の量である第2の溢れ帯域を経路決定部103が用いることにより、あるコネクションがある経路を通った場合の溢れ帯域の量を知ることができ、従って、最も溢れ帯域を小さくすることのできるコネクションとその経路を知ることができる。これにより、高い近似精度で経路選択問題を解くことが可能となる。

【0220】また、上記第5の実施形態によれば、第1の溢れ帯域と第2の溢れ帯域の量を経路決定部103が用いることにより、あるコネクションがある経路を通った場合に減少する溢れ帯域の量を知ることができ、これにより、全てのリンクの溢れ帯域の量が「0」となるようにコネクションの経路を決定することができる。従って、高い近似精度で経路選択問題を解くことが可能となる。

【0221】ここまでは、あらかじめ与えられたのネットワークについて、ノード間に設定されているリンクの

38

容量、コスト等を考慮してコネクションの最適な経路を選択する場合について説明した。

【0222】次に、例えば、トラヒックの情報とネットワークのトポロジーに関する情報があらかじめ与えられた場合に、それらをもとに所望のノード間に帯域、コスト等を考慮して最適のリンクを張り通信網を設計する通信網設計方法と、その通信網設計方法を用いた通信網設計装置について説明する。

【0223】まず、第6の実施形態について説明する。

【0224】図25は、第6の実施形態に係る通信網設計装置200の構成を示したものである。

【0225】図25において、通信網設計装置200は、初期トポロジー設定部201、トポロジー変更部202、初期経路設定部203、経路変更部204、エッジコスト算出部205から構成される。

【0226】初期トポロジー設定部201は、ノード数・ノード間に設定可能なリンクの種類等のネットワーク情報と通信フローの発ノード・着ノード・帯域・通信経路の好悪等のトラヒック情報とを用いて、通信網の初期トポロジーを求めるようになっている。

【0227】トポロジー変更部202は、初期トポロジー設定部201が求めたトポロジーあるいはトポロジー変更手段202が以前に求めたトポロジーを用いて新たなトポロジーを求めるようになっている。

【0228】初期経路設定部203は、初期トポロジー設定部201あるいはトポロジー変更手段202によって求められたトポロジー上に要求されたフローの経路を求めるようになっている。

【0229】エッジコスト算出部205は、各エッジ毎にエッジ上を流れるフローの量からエッジのコストを求めるようになっている。

【0230】経路変更部204は、エッジコスト算出部205によって求められたエッジコストを用いてフローの経路の変更を行なうようになっている。フローの経路の変更が行なわれると、各エッジを流れるフローの量も変化するため、エッジコスト算出部205は、再びエッジコストの計算を行なう。その後、経路変更部204は、新しく求められたエッジコストを用いてフローの経路を変更する。この繰り返しによりフローの経路を決定するようになっている。

【0231】フローの経路が決定した後、トポロジー変更部202は現在使用しているトポロジーの変更を行ない、初期経路設定部203に新しいトポロジーを送る。同様にしてこの新しいトポロジーに対してフローの経路割当を行なう。このようにトポロジーの変更と経路設定を繰り返し行なうことにより、通信網の設計を行なうことができる。

【0232】次に、図26に示すフローチャートを参照して図25の通信網設計装置200の動作処理について説明する。

【0233】まず、初期トポロジー設定部201は初期トポロジーを求め(ステップS100)、初期経路設定部203は、その初期トポロジーにおいて、フローの初期経路を求める(ステップS101)。

【0234】続いて、エッジコスト算出部205にて、エッジコストと網コストを求め(ステップS102、ステップS103)、ステップS104で条件判定を行なう。この段階では、フローの初期経路と網の初期コストが求まっただけであるので、無条件にステップS105に進む。

【0235】ステップS105では、経路変更手段500でフローの経路を変更し、続いてステップS102、ステップS103に進み、エッジコスト算出部205にてエッジコストと網コストを求める。

【0236】そして、ステップS104に進み、網コストが前回よりも低下しているならば、ステップS105に進み、フローの経路の変更を繰り返す。網コストが前回よりも増加しているならば、ステップS106に進み、フローの経路を前回の経路に戻す。

【0237】次に、ステップS107の条件判定に進むが、この段階では、初期トポロジーを用いた網コストのみが求まっただけであるので、無条件にステップS108に進み、トポロジー変更部202により与えられる新しいトポロジーを用いて、ステップS101～ステップS106の処理、すなわち、フローの経路と網コストを求める。この新たに求まった網コストが、前回のトポロジーを用いた場合の網コストよりも小さければ(ステップS107)、ステップS108に進み、前述のように、トポロジーを変更しフローの経路を求める。そして、新たに求まった網コストが前回のトポロジーを用いた網コストよりも大きくなっていれば(ステップS107)、ステップS109に進み、前回のトポロジーを用いて得た通信網設計情報を出力する。

【0238】通信網設計情報の内容としては、例えば、あらかじめ与えられたノード間にはられるエッジ(通信網のトポロジー)、リンクの種類、フローの経路等がある。

【0239】次に、通信網設計の手順を図26に示したフローチャートを参照して具体的に説明する。

【0240】初期トポロジー設定部201は、図26のステップS100に示すようにネットワーク情報とトラフィック情報とから初期トポロジーを求める。

【0241】例えば、設計対象の通信網がノードA、B、C、Dで構成されるものとする、ネットワーク情報には、例えば図27に示すように、これらノード間に設定することができるリンクの容量とそのために必要となるコスト等も含まれる。すなわち、図27に示すネットワーク情報には、ノード数「4」、ノード間に設定可能なリンクの種類はリンクAB、AC、AD、BA、BC、BD、CA、CB、CD、DA、DB、DCである

こと、それら各リンクについての容量およびその容量に対するコスト等が含まれる。

【0242】また、トラフィック情報としては、例えば、ノードAからノードBに50Mbpsのフロー(フロー1)と、ノードAからノードDに50Mbpsのフロー(フロー2)を流す需要が与えられたものとする。

【0243】このようなネットワーク情報およびトラフィック情報をもとに、初期トポロジー設定部201で求めた初期トポロジーの具体例を図28に示す。

10 【0244】図28において、各ノードA、B、C、D間に引かれた線をエッジと呼び、ノード間にエッジが設定されている場合にのみ、そのノード間にリンクを設定できるものとする。図28では、初期トポロジーとしてフルメッシュのトポロジーを用いているが、ネットワーク情報あるいはトラフィック情報から、設定することが望まれないエッジが存在する場合には初期トポロジーとしてフルメッシュトポロジーを用いる必要はない。

20 【0245】次に、図26のステップS101に進み、初期経路設定部203は、図28に示す初期トポロジーについて、フローの初期経路を求める。そして、エッジを流れるフローの量を用いてエッジコスト算出部205がエッジコストと網コストを求め(ステップS102、ステップS103)、これらを用いて経路変更部204がフローの経路を変更する(ステップS105)。

30 【0246】新たなフローの経路に基づいてエッジコスト算出部205がエッジコストを再計算し(ステップS102～ステップS103)、この再計算されたエッジコストを用いて経路変更部204がフローの経路を変更する(ステップS104～ステップS105)。

【0247】この経路の変更を繰り返すことにより、フローの経路を決定する。この経路の決定過程の具体例を図29に示す。なお、図29において、括弧内の数字はエッジコストを示す。

40 【0248】まず、図29(a)のように、初期トポロジーの各エッジにコストを割り当てる。ここでは、各エッジに設定できるリンクの中で最小容量のリンクを選び、そのリンクの単位容量当りのコストをエッジのコストとしている。そして、そのエッジのコストを用いて最小コスト経路を求め、初期経路としている。その結果、フロー初期経路は、フロー1に対しては経路A→B、フロー2に対しては経路A→Dが与えられる。

50 【0249】次に、ステップS102に進み、エッジコスト算出部205がエッジの新たなコストを求める。図29(b)では、通過しているフローの量の合計が「0」よりも大きいエッジには、リンク容量がフローの量の合計よりも大きくかつ最小のコストを持つリンクを選びそのコストを与え、フローの量の合計が「0」のエッジには、初期経路を決める際と同様に、最小容量のリンクの単位容量当りのコストを与えている。すなわち、図29(b)では、エッジAB(フロー1)には容量6



0Mbpsでコストが「12(万円)」のリンクを与え、エッジAD(フロー2)には容量60Mbpsでコストが「12(万円)」のリンクを与えている。

【0250】次に、ステップS103に進み、経路変更部204で網コストを求める。図29(b)では、フローが通過しているエッジのコストの和を求め、その結果、網コストは「24」となる。

【0251】次に、ステップS104に進み、前回の経路を用いた場合と新たな経路を用いた場合とで網コストの比較を行なうのだが、今回は前回の経路が存在しないため、無条件でステップS105に進み、経路変更部204は、フローの経路を変更する。

【0252】例えば、図29(c)では、エッジコストを用いて最小コスト経路をフローに割り当てている。具体的には、図29(b)のエッジコストを用いて最小コスト経路を求めることにより、フロー1の変更後の経路として経路A→C→Bが求められ、フロー2の変更後の経路として経路A→C→Dが求められる。フロー1とフロー2の経路を変更した様子を図29(c)に示す。

【0253】図29(c)では、フロー1とフロー2を新たな経路に全て変更しているが、Leonard KleinrockによるQueueing Systems(vol2, pp. 270-421, John Wiley&Sons, 1976)に記載されたFD法のようにフローの一部を新たな経路に変更しても良い。また、KleinrockによるFIXED ROUTINGのようにフロー1を新たな経路に変更し、網コストが減少しない場合にはフロー1の経路をもとに戻し、次にフロー2の経路を新たな経路に変更し、網コストが減少しない場合にはフロー2の経路をもとに戻すといったように、逐次フローの経路を変更していてもよい。

【0254】次に、ステップS102に進み、エッジコストを再び求める。図29(c)では、フロー1、フロー2の経路に共通な経路A→Cに、容量100Mbps、コスト「16」のリンクを与え、フロー1の経路C→Bに容量60Mbps、コスト「3」のリンクを与え、フロー2の経路C→Dに容量60Mbps、コスト「3」のリンクを与えている。

【0255】ステップS103に進み、網コストを求めると「22」となり、前回と比べ網コストが減少しているため(ステップS104)、もう一度、ステップS105に進みフローの経路を変更する。

【0256】すると、フローの経路は図29(b)のようになるため、網コストが増加し、今回はステップS104からステップS106に進み、フローの経路を変更前に戻す。つまり、フローの経路は図29(c)の状態に戻される。

【0257】次に、ステップS107の条件判定を行なうのだが、初期トポロジーを用いているので、無条件にステップS108に進む。ステップS108では、トポロジー変更部202でトポロジーの変更を行ない、この

新たなトポロジーを用いて、初期経路設定部203とエッジコスト算出部205と経路変更部204により前述のステップS101～ステップS106の処理を行い、フローの経路を決定する。

【0258】ステップS107では、経路変更部204は、前回のトポロジーを用いた場合の網コストと比べ、現在のトポロジーを用いた網コストが減少していればステップS108に進み、そうでなければ、ステップS109に進み、前回のトポロジーを用いた場合のフローの経路ノード間に設定されたリンクの種類等の通信網設計情報を出力する。

【0259】図29の経路決定過程の説明では、各エッジを流れるフローからエッジコストを計算し、フローの経路を最小コスト経路へ変更することを試みている。そうではなく、エッジコスト算出部205は、各エッジを流れるフローから求められるエッジコストであるエッジコスト1と、あるフローを選択し、各リンクにその選択したフローが加わったと仮定した時のエッジコストであるエッジコスト2を求める。経路変更部204は、エッジコスト2とエッジコスト1の差である増加コストをリンク毎に求め、経路上の各リンクの増加コストの和が最小である経路へ、選択されたフローの経路の変更を試みる。この操作を全てのフローに対して行なうことによりフローの経路変更を行なってもよい。

【0260】以後に説明する通信網設計装置の他の実施形態においても、フローの経路の変更先は、現在のフローの量よりエッジコストを求めエッジコストの和が最小の経路を選択してもよいし、経路変更を試みるフローが各リンクに新たに加わったとして増加するエッジコストを求め増加コストの和が最小となる経路を選択してもよい。

【0261】次に、第7の実施形態について説明する。

【0262】図30は、第7の実施形態に係る通信網設計装置300の構成を示したものである。

【0263】図30において、通信網設計装置300は、初期トポロジー設定部301、トポロジー変更部302、初期経路設定部303、経路変更部304、エッジコスト算出部305、最良結果記憶部306から構成されている。

【0264】初期トポロジー設定部301は、ノード数・ノード間に設定可能なリンクの種類等のネットワーク情報と通信フローの発ノード・着ノード・帯域・通信経路の好悪等のトラヒック情報とを用いて、通信網の初期トポロジーを求めるようになっている。

【0265】トポロジー変更部302は、初期トポロジー設定部301が求めたトポロジーあるいはトポロジー変更手段202が以前に求めたトポロジーを用いて新たなトポロジーを求めるようになっている。

【0266】初期経路設定部303は、初期トポロジー設定部301あるいはトポロジー変更手段302によっ



て求められたトポロジー上に要求されたフローの経路を求めようになっている。

【0267】エッジコスト算出部305は、各エッジ毎にエッジ上を流れるフローの量からエッジのコストを求めようになっている。

【0268】次に、図31に示すフローチャートを参照して、図30の通信網設計装置300の動作処理について説明する。

【0269】まず、ステップS120に進み、例えば、トポロジー変更部302のトポロジー記憶部310にあらかじめ記憶されているトポロジーを変更した回数hに初期値「0」を記憶する。そして、ステップS121に進み、初期トポロジー設定部301において、初期トポロジーを求め、次にステップS122に進み、初期経路設定部303が、その初期トポロジーを対象にフローの初期経路を求める。

【0270】そして、ステップS123～ステップS124で、エッジコスト算出部305により各エッジを流れるフローからエッジコストと網コストを算出する。

【0271】次に、ステップS125に進み、今回の網コストが前回の網コストより低下したか否かの条件判定を行なうのであるが、今回はフローの初期経路と網の初期コストが求まった段階であるので、無条件にステップS126に進む。

【0272】ステップS126では、経路変更部304がフローの経路を変更し、再びステップS123、ステップS124に進み、エッジコスト算出部305がエッジコストと網コストを求める。そして、ステップS125で、網コストが前回の網コストよりも低下しているのであればステップS126に進み、コストが増加しているのであればステップS127に進む。

【0273】ステップS127では、フローの経路を変更前に戻し、ステップS128に進み、条件判定を行なう。すなわち、トポロジーを変更した回数hが規定回数Kよりも小さい場合、ステップS129に進み、トポロジーを変更した回数に1を加え、ステップS130に進む。このとき、ステップS130では、過去に最良結果記憶部306に網情報を記憶したことがないため、無条件にステップS131に進み、最良結果記憶部306に今回の通信網設計情報を記憶し、ステップS132に進み、トポロジー変更部302がトポロジーを変更し、更にステップS122に戻る。以後同様のことを繰り返す。

【0274】なお、ステップS128で、トポロジーを変更した回数hが規定回数K以上のときは、ステップS133に進み、最良結果記憶部306に記憶されている通信網設計情報を出力し、処理が終了する。

【0275】この第7の実施形態にかかる通信網設計装置300が、第6の実施形態と異なる点は、トポロジー変更を繰り返し、網コストが前回のトポロジーを用いた

場合の網コストよりも増加した場合でもトポロジーの変更を続け、ある規定回数(K)のトポロジー変更を行なった後に最良結果記憶部306に記憶してある通信網設計情報を出力することである。

【0276】図32は、トポロジー変更部302の構成例を示したもので、トポロジー記憶部310、エッジ削除部311、トポロジー選択部312から構成される。

【0277】初期トポロジー設定部301で求められた初期トポロジー情報が出力されて、トポロジー記憶部310に記憶されるようになっている。

【0278】エッジ削除部311は、通信フローの発ノード・着ノード・帯域・経路の好悪等のトラヒック情報と過去のフローの経路割り当て結果とを用いて、トポロジー記憶部310に記憶されているトポロジーのエッジからk(>0)本のエッジを取り除くことにより、複数の新たなトポロジーを求めるようになっている。その結果もとめられたトポロジー情報は初期経路設定部303に出力される。

【0279】トポロジー選択部312は、エッジ削除部311の求めた複数のトポロジーに対して、経路変更部304で決定された経路の結果を用い、その中で最良の結果を得ることのできたトポロジーを選択するようになっている。そして、この選ばれたトポロジーはトポロジー記憶部312に再度記憶されるようになっている。

【0280】エッジ削除部311は、トポロジー記憶部310に新たに記憶されたトポロジーからエッジをk本削除することにより、新たなトポロジーを求める。以後、この繰り返しにより、通信網の設計を行なう。

【0281】次に、図32に示したような構成のトポロジー変更部302の動作処理について、図33に示すフローチャートを参照して詳細に説明する。

【0282】まず、ステップS140に進み、トポロジー記憶部310には、初期トポロジー設定部301で求められた初期トポロジーの情報が記憶されているとする。すなわち、この初期トポロジーを対象にすでに図31のステップS122～ステップS125の処理が行われたものとする。

【0283】次に、ステップS141に進み、エッジ削除部311は、トポロジー記憶部310に記憶されているトポロジーのエッジをb本取り除くことにより新たなトポロジーを作り、これを出力する。出力したトポロジーを用いて図31のステップS122～ステップS125の処理が行われ、その結果、経路変更部304から通信網設計情報を受けると、再びエッジ削除部311は、トポロジー記憶部310に記憶されているトポロジーからb本のエッジを取り除くことにより新たなトポロジーを生成し、これを出力する(ステップS142)。このとき、エッジ削除部311は、過去に生成したトポロジーとは異なったトポロジーを生成することはいふまでもない。このようにして、エッジ削除部311は、新

45

たなトポロジーを生成していく。すなわち、トポロジー記憶部310に図28に示したような初期トポロジーが記憶されているとすると、エッジ削除部311で、この初期トポロジーから、例えば、 $b=2$ 本のエッジを取り除くことにより生成される新たなトポロジーの具体例を図34に示す。

【0284】図34に示す(a)図～(o)図は、初期トポロジーとして、ノードA、B、C、D間に引かれた6本のエッジのうち、2本のエッジを削除した場合に考え得る全ての新たなトポロジーを示している。

【0285】ここでは、 $b$ 本のエッジを削除することにより得られる全てのトポロジーをエッジ削除部311は生成しているが、例えば、任意のノード間の経路は2つ以上必要であり、この制限を破壊するエッジの削除パターンを禁止してもよい。また、計算量を削減するため、フローの経路に対する好悪等のトラヒック情報や通信網設計情報を用いて、網コストを減少させる可能性の低いトポロジーの生成を禁止してもよい。

【0286】エッジ削除部311が許される全てのトポロジーを生成したならば(ステップS143)、ステップS144に進み、トポロジー選択部312は、トポロジー記憶部310に現在記憶されているトポロジーを用いてエッジ削除部311が生成したトポロジーの中から最小の網コストを与えるトポロジーを選択する。

【0287】ステップS144で選択されたトポロジーを用いた場合の網コストが、トポロジー記憶部310に記憶されているトポロジーを用いた場合の網コストよりも減少している場合は(ステップS145)、ステップS144で選択されたトポロジーをトポロジー記憶部310に記憶し(ステップS146)、ステップS141に進み、新たなトポロジーの生成を続ける。

【0288】一方、ステップS145で選択されたトポロジーを用いた場合の網コストが、トポロジー記憶部310に記憶されているトポロジーを用いた場合の網コストよりも減少していない場合には(ステップS145)、新しいトポロジーの生成を終了する。あるいは、図31のステップS128のように、網コストが減少しなくとも、あらかじめ与えられた回数だけトポロジーの生成を続けてもよい。

【0289】このとき、 $b$ は固定した値であってもよいが、トポロジー記憶部310に記憶されているトポロジーのエッジの数の非減少関数で決定してもよい。

【0290】なお、図32の示したトポロジー変更部302の構成例は、前述の第6の実施形態におけるトポロ \*

46

\* ジー変更部202の構成例としても有効である。この場合、図26のステップS107において、経路変更部204がトポロジーの変更を行なうか否かの判断を行う際、トポロジー記憶部310に記憶されているトポロジーを用いた場合の網コストと、エッジ削除部311で、そのトポロジーから $b(>0)$ 本のエッジを取り除くことにより得られる複数のトポロジーの中で最も良い結果を与えるトポロジーを用いた場合の網コストを比較することはいうまでもない。

10 【0291】次に、第8の実施形態について説明する。ここでは、ノード間に2本以上のリンクを設定することが許されている場合の通信網設計方法および通信網設計装置について説明する。

【0292】ノード間に2本以上のリンクを設定することが許されている場合のエッジのコストの計算方法としては、例えば、次のようなものがある。すなわち、エッジ $e$ を通過するフローの合計量を $y$ と書くことにすると、リンク容量の和が $y$ 以上でかつリンクのコストの合計が最小となるリンクの組合せを選び、選ばれたリンクのコストの和をエッジ $e$ のコストとしてエッジコスト算出部305が求めることにより、通信網設計装置300をノード間に2本以上のリンクを設定することが許されている場合における通信網設計装置として用いることができる。

【0293】次に、ノード間に2本以上のリンクを設定することが許されている場合の設定するリンクの選び方について説明する。以下の説明において、エッジ $e$ を通過するフローの合計量が $y$ であり、そのエッジに設定することのできるリンクは $n$ 種類あり、 $i$ 番目のリンクの容量を $a_i$ 、コストを $c_i$ と書くことにし、エッジ上に設定すべき $i$ 番目のリンクの本数を $x_i$ で表すことにする。すると、最小コストのリンクを選ぶには、次の問題( $P(y)$ )を解けばよいことが分かる。

【0294】問題( $P(y)$ )とは、式(12)の制約条件のもと、式(11)で表される $z$ を最小化する解を求めることである。

【0295】

【数5】

$$z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad \cdots (11)$$

【0296】

【数6】

$$\sum_{j=1}^n a_j x_j \geq y \quad x_j = 0, 1, 2, 3, \cdots$$

$$y \geq 0, \quad a_j \geq 0, \quad c_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \cdots, n) \quad \cdots (12)$$

なお、 $y, c_j, a_j$  は非負の整数であるものとする。 50 このような仮定をおいても $y, c_j, a_j$  が有限桁の実

数である場合には、適当な整数をかけることにより整数 \* く。すなわち、  
とすることができるので、実用上の問題はない。 【0298】

【0297】問題 (P (y)) の最適値を G (y) と書 \* 【数7】

$$G(y) = \min_x \left\{ \sum_{j=1}^n c_j x_j \mid \sum_{j=1}^n a_j x_j \geq y, x_j = 0, 1, 2, \dots, j = 1, 2, \dots, n \right\}$$

… (13)

と定義する。

\* 【0300】

【0299】次に、問題 (P (y)) の最適解  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  に対して、

※

$$d(y) = \begin{cases} \min \{j \mid \hat{x}_j > 0\} & \text{for } \hat{x} \neq 0 \\ n & \text{for } \hat{x} = 0 \end{cases} \quad \dots (14)$$

を定義する。すると、 $x_j > 0$  ならば、 $X' = (x_1, \dots, x_{j-1}, x_j, x_{j+1}, \dots, x_n)$  は、問題 (P (y - a<sub>j</sub>)) の最適解であるから、 $x_j > 0$  なる全ての j に対して式 (15) が成り立つ。

$$\star d(y) \leq d(y - a_j) \quad \dots (15)$$

従って、

【0302】

【0301】

20 【数10】

【数9】

★

$$S(y) = \{j \mid y - a_j > 0, j \leq d(y - a_j)\} \quad \dots (16)$$

$$T(y) = \{j \mid y - a_j \leq 0\}$$

とおくと、 $T(y) = \emptyset$  のとき、

☆ 【数11】

【0303】

☆

$$G(y) = \min \{c_j + G(y - a_j) \mid j \in S(y)\} \quad \dots (17)$$

となる。定義より  $G(0) = 0$  であるから式 (17) を用いて  $G(y)$  を再帰的に求めることができる。また、 $T(y) \neq \emptyset$  のとき、

◆ 【0304】

【数12】

◆

$$G(y) = \min \{ \min \{c_j + G(y - a_j) \mid j \in S(y)\}, \min \{c_j \mid j \in T(y)\} \}$$

… (18)

で求めることができる。

\* 【0306】

【0305】さらに、 $G(y)$  は次の性質を持つ。すなわち、 $a_{\max} = \max \{ |a_j| \}$  とするとき、

【数13】

\*40

$$\begin{cases} d(y) = 1 & \text{for } y^* \leq y < y^* + a \\ d(y) > 1 & \text{for } y = y^* - 1 \end{cases} \quad \dots (19)$$

を満たすならば  $y \geq y^*$  なる y に対して次式が成り立つ。

※ 【0307】

※ 【数14】

$$G(y) = c_1 + G(y - a_1) \quad \dots (20)$$

この  $G(y)$  の周期性を用いると、問題 (P (y)) をさらに容易に解くことができる。

【0308】以上をまとめ、問題P(y)を解くアルゴリズム(手順)を説明する。

(手順1) もし、 $y=0$ なら $G(y)=0$ 、 $x=0$ とし、処理を終了する。

(手順2)  $a_{i,j} = \max_j a_{i,j}$ 、 $y^* = 1$ 、 $G(i) = \infty$  ( $i=1, 2, \dots, y$ )、 $d(i) = n$  ( $i=1, 2, \dots, y$ )、 $x_j = 0$  ( $j=1, 2, \dots, n$ )

(手順3)  $i=1$

(手順4) もし $i=y^*+a_{i,j}$ ならば手順9へ、もし $i>y$ ならば手順11へ

(手順5)  $S(i)$ 、 $T(i)$ を求め、式(18)を用いて $G(i)$ を求める。この時、式(18)を満足する $j$ を $j^*$ で表す。

(手順6)  $d(i) = j^*$

(手順7) もし $j^* \neq n$ ならば、 $y^* = i+1$

(手順8)  $i = i+1$ として手順4へ

(手順9)  $k = \lceil (y-y^*)/a_{i,j^*} \rceil$ 、 $y' = y - k a_{i,j^*}$

(手順10)  $G(y) = k c_{i,j^*} + G(y')$ 、 $i = y'$

(手順11) もし $i=0$ なら終了

(手順12)  $j = d_i$ 、 $x_j = x_j + 1$

(手順13)  $i = i - a_{i,j}$

(手順14) 手順11へ

なお、「 $x$ 」は、 $x$ 以下の最大整数を表すものとする。

【0309】上記の方法により、エッジを通過するフローの合計量から、そのエッジ上に張るべきリンクが決定できる。例えば、ノードA、B、C、Dで構成されるネットワークについて、これらノード間に、図35で示すような容量、コストの2種類づつのリンクを設定できる場合、各ノード間に複数のリンクを設定できるとすれば、各エッジにおける流れるフローの量とエッジコストの関係は、図36に示すようになる。

【0310】図35は、ノードA、B、C、Dで構成されるネットワークの各リンク毎に、設定され得る容量とそのコストを示したテーブル群を示したもので、図36は、そのネットワークの各エッジ毎に、そのエッジに流れるフローの量に対するコストの関係の一具体例を示したテーブル群を示したものである。

【0311】例えば、図35に示すノードA、B間に設定できるリンクが、容量20Mbpsでコスト4万円のリンクと、容量100Mbpsでコスト16万円のリンクであるとする、そのエッジABに流れるフローの量とエッジコストの関係は、図36より、フローの量が0~20Mbpsのときは、容量20Mbpsのリンクを1本はり、従ってコストは4万円であることがわかる。また、フローの量が20~40Mbpsのときは、容量20Mbpsのリンクを2本はり、従ってコストは8万円であることがわかる。また、フローの量が40~60Mbpsのときは、容量20Mbpsのリンクを3本は

り、従ってコストは12万円であることがわかる。さらに、フローの量が60~100Mbpsのときは、容量100Mbpsのリンクを1本はり、従ってコストは16万円であることがわかる。

【0312】なお、エッジコスト算出部305では、前述の手順1から手順14を行う代わりに、例えば、図36のような各エッジにおける流れるフローの量とエッジコストの関係を示したテーブル群をあらかじめ記憶するようにしてもよい。

10 【0313】次に、第9の実施形態について説明する。

【0314】図37は、第9の実施形態に係る通信網設計装置400の構成を示したもので、フロー算出部401、仮想網設計部402、コネクション経路決定部403、リンク設定部404から構成されている。

【0315】フロー算出部401は、コネクション情報として、設定したいコネクションの需要を受けとり、発ノードと着ノードを同じくするコネクションの帯域の合計を求め、仮想的にフローを生成するものである。

20 【0316】仮想網設計部402は、フロー算出部401が求めたフローを設定する網を設計するものである。

【0317】コネクション経路決定部403は、仮想網設計部402が設計したフローの経路からコネクションの経路を決定するものである。この決定されたコネクションの経路を基に、リンク設定部404がノード間に設定すべきリンクを決定するようになっている。

【0318】例えば、A、B、Cという3つのノードが与えられ、ノードAからノードBへ帯域が70Mbpsのコネクションを2本、ノードCからノードAへ帯域が50Mbpsと70Mbpsのコネクションを各々1本ずつ、ノードCからノードBへ帯域が80Mbpsと70Mbpsと10Mbpsのコネクションを各々1本ずつ設定する必要がある場合を考える。コネクションの経路は、2つ以上に分岐してはいけないものとする。

【0319】フロー算出部401は、このようなコネクションの情報を基にフローを生成する。その結果、ノードAからノードBへ設定することを要求する帯域が140Mbpsのフローと、ノードCからノードAへ設定することを要求する帯域が120Mbpsのフローと、ノードCからノードBへ設定することを要求する帯域が160Mbpsのフローが生成される。

【0320】このとき、各ノード間に設定可能なリンクの種類が図38で示すように与えられているとする。すなわち、ノードAとノードBの間、ノードBとノードCの間、ノードCとノードAの間には、それぞれ150Mbpsのリンクが設定可能であるとする。また、そのコストは各ノード間で等しいものとする。

【0321】このとき、このリンクの容量とコスト等に関する情報(ネットワーク情報)とフロー算出部401が生成したフローの情報とを用いて、仮想網設計部402は、フローの経路とノード間に設定すべきリンクを決

定する。その結果得られたフローの経路を図39に示す。

【0322】このフローの経路を用いて、コネクション経路決定部403は、コネクションの経路を決定する。図39では、ノードCからノードBへ設定を要求するフローの一部がノードAを経由している。このようにフローの経路が分岐している場合には、各経路のフローの帯域に応じて、その経路に設定されるコネクションを決める。図39では、ノードCからノードBへ設定されたフローの経路が150Mbpsと10Mbpsの2つの経路に分岐している。このフローの元になっているコネクションの帯域は、80Mbps、70Mbps、10Mbpsであるので、このコネクションの帯域を用いてフローの帯域となるべく近くなるようにコネクションの経路を決める。その結果、図40のように10Mbpsのコネクションが経路C→A→Bに設定される。

【0323】以上の結果、コネクションの経路は、図40のように決定される。すなわち、ノードAからノードBへ帯域が70Mbpsの2本のコネクションの経路、ノードCからノードAへ帯域が50Mbpsと70Mbpsの2本のコネクションの経路、ノードCからノードBへ帯域が80Mbpsと70Mbpsの2本のコネクションの経路、ノードCからノードAを経由してノードBに向かう10Mbpsのコネクションの経路が決定される。

【0324】すると、ノード間を通過するコネクションが既に決定されているため、各ノード間で通過するコネクションを収容するリンクを決定することができる。

【0325】この例では、コネクションを収容する最終的な網と仮想網は同じリンクを設定しているが、必要ならば、仮想網と最終的に設計される網とで設計されるリンクが異なっているもよい。

【0326】図37に示した通信網設計装置400の構成の説明では、設定すべきコネクション群がコネクション情報として予め与えられるという前提で説明を行なったが、コネクション設定要求が確率的に生起する場合には、コネクション設定拒絶確率が予め与えられる閾値以下になるように設定すべきコネクション群を求めてもよい。

【0327】また、図37に示した通信網設計装置400の仮想網設計部402は、図25、図30に示したような通信網設計装置200、300を用いても有効である。この場合、図37の通信網設計装置400のフロー算出部401で求められた通信フローの情報をトラヒック情報とすればよい。

【0328】以上説明したように、上記第6～第9の実施形態によれば、トポロジーの変更とフローの経路の変更を繰り返すことにより、通信網設計問題の精度のよい近似解を得ることができ、また、設定すべきコネクションが与えられている場合には、コネクションをフローに

変換して、その仮想的なフローに対する通信網設計問題を解き、その解をもとに、コネクションの経路を決定することにより、少ない計算量で網設計を行うことができる。

【0329】また、上記第6の実施形態に係る通信網設計方法およびその方法を用いた通信網設計装置によれば、初期トポロジー設定部201が与えた初期トポロジーに、初期経路設定部203はフローの設定を行ない、次に、各エッジ上を流れるフローの量からエッジコスト算出部205は、エッジのコストを求め、その結果をもとに経路変更部204でフローの新しい経路を求め、フローの一部または全部を新しい経路に移すことにより変化する各エッジ上を流れるフローの量に伴い変化するエッジのコストを再計算し、以下、同様の操作を網コストが低下しなくなるまで繰り返し、さらに、トポロジー変更部202により初期トポロジーを変更し、この変更されたトポロジーを用いてフローの経路を決定して、さらに、トポロジーの変更とその新しいトポロジーに対してフローの経路の決定を繰り返し、トポロジーの変更により網コストが低下しなくなるまで繰り返すことにより、網設計問題の精度の良い近似解を得ることが可能となる。

【0330】また、上記第7の実施形態に係る通信網設計方法およびその方法を用いた通信網設計装置によれば、初期トポロジー設定部301が与えた初期トポロジーに、初期経路設定部303はフローの設定を行ない、次に、各エッジ上を流れるフローの量からエッジコスト算出部305は、エッジのコストを求め、その結果をもとに経路変更部304でフローの新しい経路を求め、フローの一部または全部を新しい経路に移すことにより変化する各エッジ上を流れるフローの量に伴い変化するエッジのコストを再計算し、以下、同様の操作をフローの経路が変更されなくなるまで繰り返し、さらに、トポロジー変更部302により初期トポロジーを変更し、この変更されたトポロジーを用いてフローの経路を決定して、さらに、トポロジーの変更とその新しいトポロジーに対してフローの経路の決定を繰り返し、この繰り返しの中で最良の結果を最良結果記憶部306に記憶しておくことにより、網設計問題の精度の良い近似解を得ることが可能となる。

【0331】また、トポロジー記憶部310に記憶されているトポロジーからエッジ削除手段が与えられた数だけエッジを取り除く際に取り除くエッジの組合せを変更することにより複数のトポロジーを得て、この複数のトポロジーに対してフローの経路の決定を行ない、最も良い結果を与えるトポロジーをトポロジー選択部312が選び、トポロジー記憶部310に再記憶し、この操作を繰り返すことにより、網設計問題の精度の良い近似解を得ることが可能となる。

【0332】また、上記第8の実施形態に係る通信網設

計方法およびその方法を用いた通信網設計装置によれば、エッジコスト算出部305は、エッジコストをフローを収容することのできるリンクの組合せの中で最小コストのリンクの組合せを選ぶことにより、網設計問題の精度の良い近似解を得ることが可能となる。

【0333】また、上記第9の実施形態によれば、設定すべき複数のコネクションが与えられ、1本のコネクションの経路が2つ以上に分岐することが許されていない場合の網設計問題は組合せ問題となるため、解くことが非常に困難となるが、発ノードと着ノードを同じくするコネクションをまとめて、フロー算出部401が、フローを求め、フローの経路は2つ以上に分岐してもよいものとするにより、仮想網設計部402は網設計問題を解くことが容易になる。このようにして求めたフローの経路を基にコネクションの経路をコネクション経路決定部403を用いて求める。その後、コネクションの経路を基に、各ノード間に設定すべきリンクをリンク設定部404が求める。この操作により、コネクションを設定する網設計問題を少ない計算量で解くことが可能となる。

#### 【0334】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、同じ双方向コネクションに属する上りコネクションと下りコネクションが同じ経路を通るという条件のもとに最適な経路の選択を効率的に行える経路選択方法および経路選択装置を提供できる。

【0335】また、本発明によれば、あらかじめ与えられたネットワーク上に複数のコネクションの経路を選択するという経路選択問題の精度のよい近似解を与えることが可能な経路選択方法および経路選択装置を提供できる。

【0336】また、本発明によれば、ノード間に設定可能なリンクの容量とコストとトラヒック需要から通信網を設計するという通信網設計問題の精度のよい近似解を少ない計算量で得ることができる通信網設計方法および通信網設計装置を提供できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る経路選択装置の構成を概略的に示したブロック図。

【図2】図1の評価値算出部の構成を概略的に示すブロック図。

【図3】図1の経路選択部の構成を概略的に示すブロック図。

【図4】評価値算出部の処理動作を説明するためのフローチャート。

【図5】経路選択部の処理動作を説明するためのフローチャート。

【図6】経路選択対象のネットワークの構成例を示した図。

【図7】経路選択を行うために必要なコネクション情報

の内容の具体例を示した図。

【図8】本発明の第2の実施形態に係る経路選択装置の構成を概略的に示したブロック図。

【図9】図1の評価値算出部の構成を概略的に示したブロック図。

【図10】図1の経路選択装置の処理動作を説明するためのフローチャート。

【図11】図1の経路選択装置の処理動作を具体的に説明するために用いたコネクション情報の内容の具体例を示した図。

【図12】本発明の第3の実施形態に係る経路選択装置の構成を概略的に示したブロック図。

【図13】経路選択対象のネットワークの構成例を示した図。

【図14】図12の経路決定部の構成を概略的に示したブロック図。

【図15】図12の経路選択装置の処理動作を説明するためのフローチャート。

【図16】経路選択対象のネットワークの他の構成例を示した図。

【図17】経路選択を行うために必要なコネクション情報の内容の他の具体例を示した図。

【図18】各コネクションの帯域の予約状況の具体例を示した図。

【図19】本発明の第4の実施形態に係る経路決定部の構成を概略的に示したブロック

【図20】第4の実施形態に係る経路選択装置の動作処理を説明するためのフローチャート。

【図21】経路探索部で探索された経路と経路番号の対応の一例を示した図。

【図22】本発明の第5の実施形態に係る経路決定部の構成を概略的に示したブロック図。

【図23】第5の実施形態に係る経路選択装置の動作処理を説明するためのフローチャート。

【図24】ノード間に複数のリンクが張られている場合の経路選択方法について説明するための図。

【図25】本発明の第6の実施形態に係る通信網設計装置の構成を概略的に示したブロック図。

【図26】第6の実施形態に係る通信網設計装置の動作処理を説明するためのフローチャート。

【図27】通信網の設計に必要なネットワーク情報の内容の具体例を示した図で、ノード間に設定可能なリンクの種類と、そのリンクの容量、コストの情報が含まれている。

【図28】初期トポロジー設定部で求めた初期トポロジーの具体例を示した図。

【図29】フローの経路の決定過程を説明するための図。

【図30】本発明の第7の実施形態に係る通信網設計装置の構成を概略的に示したブロック図。

55

【図31】第7の実施形態に係る通信網設計装置の動作処理を説明するためのフローチャート。

【図32】トポロジー変更部の構成を概略的に示したブロック図。

【図33】図32のトポロジー変更部の動作処理を説明するためのフローチャート。

【図34】エッジ削除部で所定数のエッジを削除して作成される新たなトポロジーの具体例を示した図。

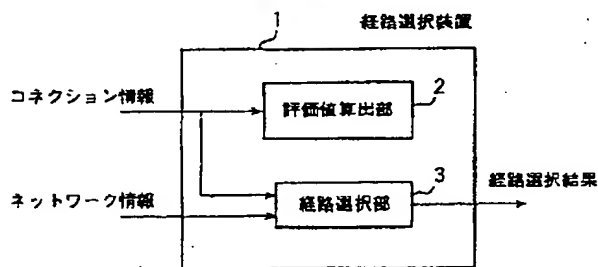
【図35】通信網の設計に必要なネットワーク情報の内容の他の具体例を示した図で、ノード間に設定可能なリンクの種類と、そのリンクの容量、コストの情報が含まれている。

【図36】ノード間に2本以上のリンクを設定できる場合のエッジを通過するフローの量とエッジコストの対応の具体例を示した図。

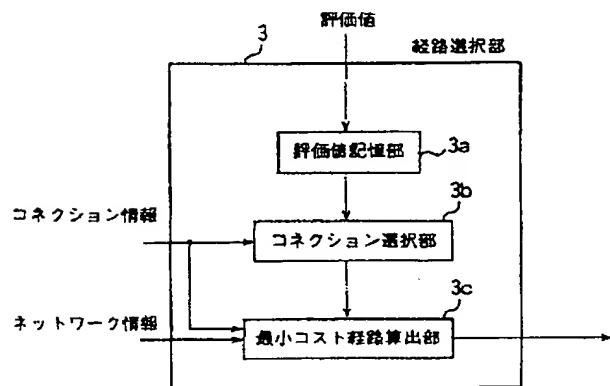
【図37】本発明の第9の実施形態に係る通信網設計装置の構成を概略的に示したブロック図。

【図38】図37の通信網設計装置の処理動作を説明するための図で、各ノード間に設定可能なリンクの一例を示した図。

【図1】



【図3】



56

【図39】図37の通信網設計装置の処理動作を説明するための図で、仮想網設計部で仮想網を設計した結果得られたフローの経路の具体例を示した図。

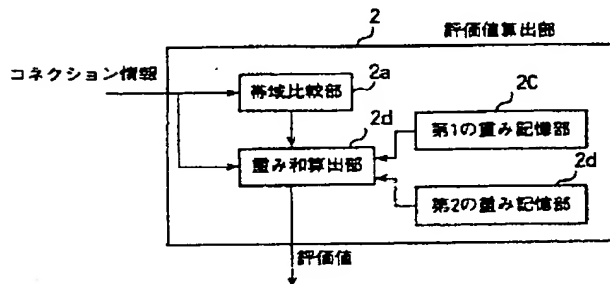
【図40】図37の通信網設計装置の処理動作を説明するための図で、コネクション経路決定部で決定された各コネクションの経路の具体例を示した図。

【符号の説明】

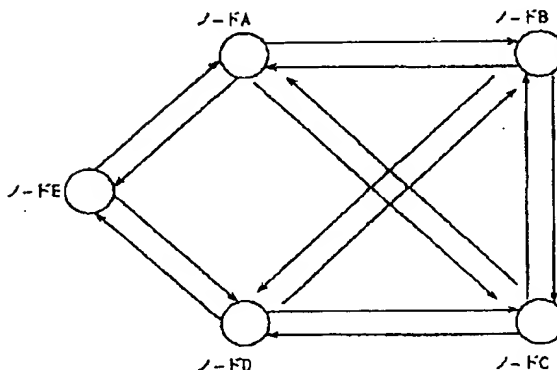
1…経路選択装置、2…評価値算出部、3…経路選択部、5…経路選択装置、6…パラメータ変更部、7…評価値算出部、8…経路選択部、9…最良結果記憶部、100…経路選択装置、101…経路探索部、102…帯域予約部、103…経路決定部、200…通信網設計装置、201…初期トポロジー設定部、202…トポロジー変更部、203…初期経路設定部、204…経路変更部、205…エッジコスト算出部、300…通信網設計装置、301…初期トポロジー設定部、302…トポロジー変更部、303…初期経路設定部、304…経路変更部、305…エッジコスト算出部、306…最良結果記憶部。

20

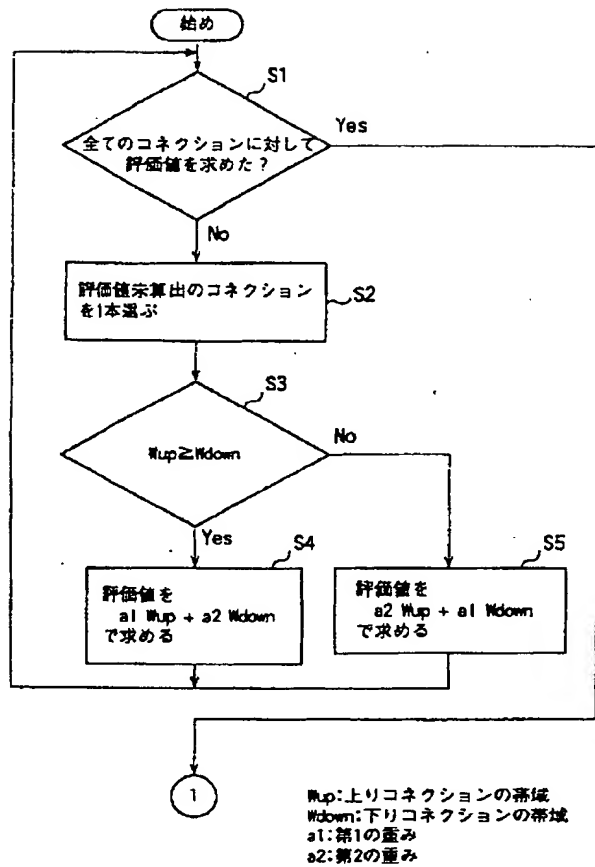
【図2】



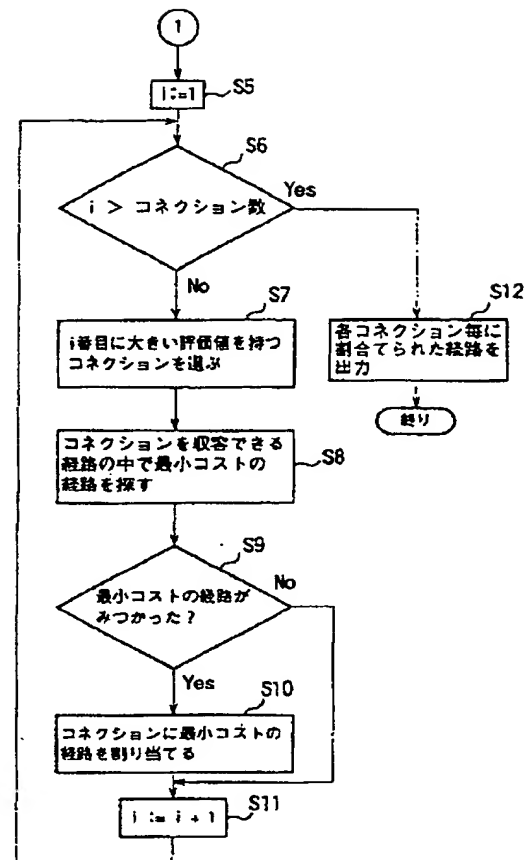
【図6】



【図4】



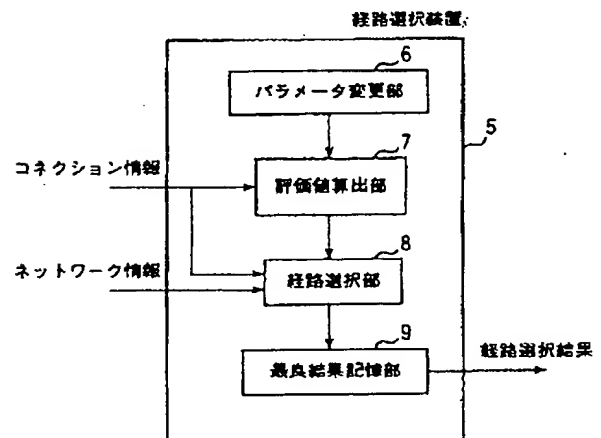
【図5】



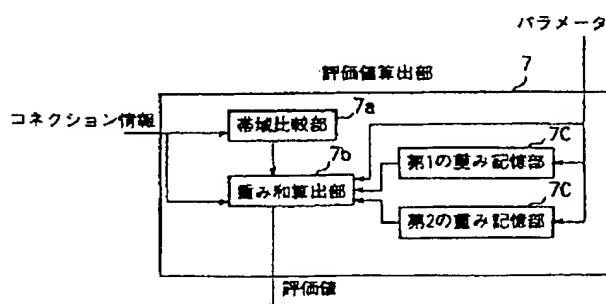
【図7】

コネクション番号	発ノード → 着ノード	下り帯域 [Mbps]	上り帯域 [Mbps]
1	A → B	150	10
2	A → B	150	0
3	A → C	140	140
4	C → D	20	130
5	C → D	10	10

【図8】

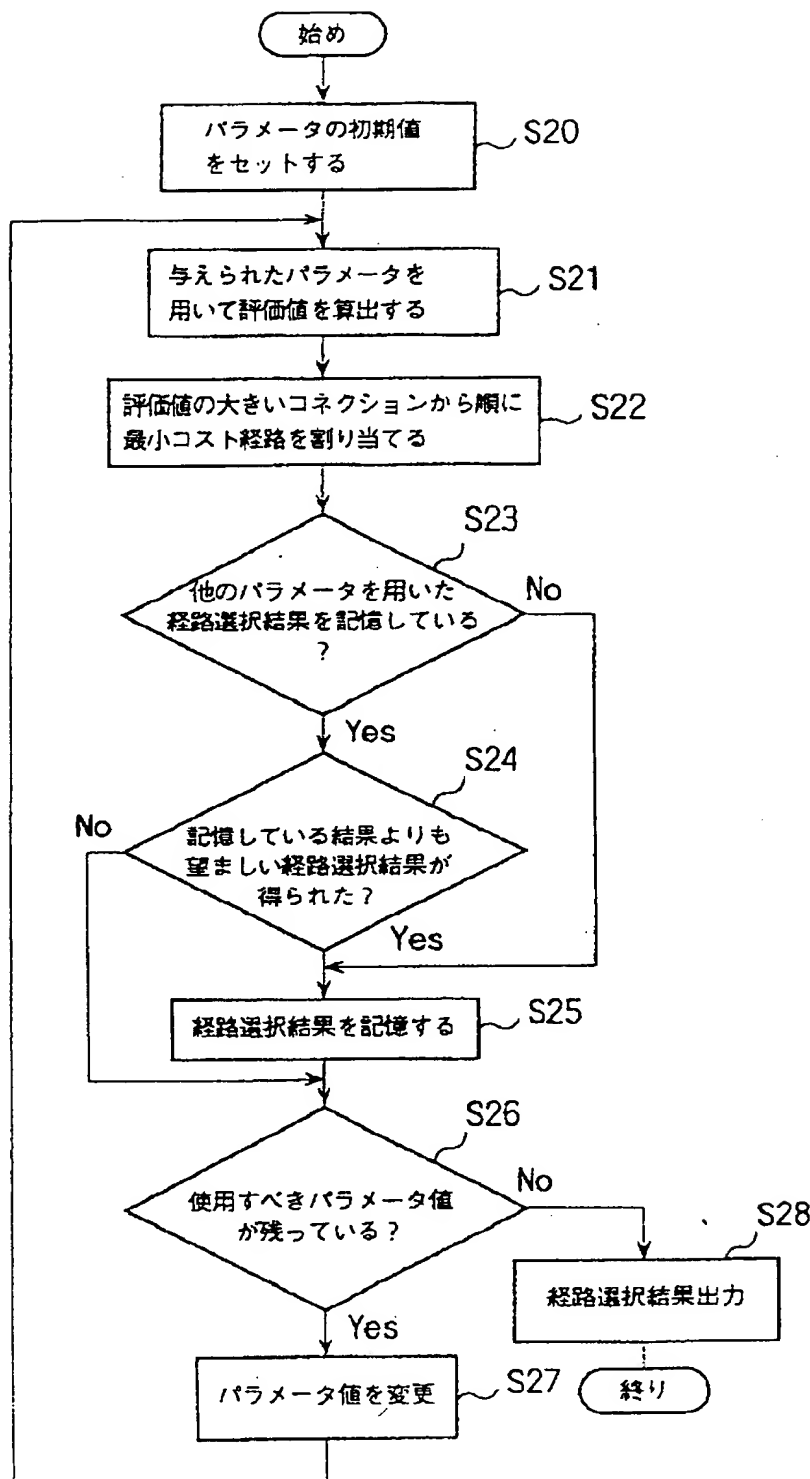


【図9】

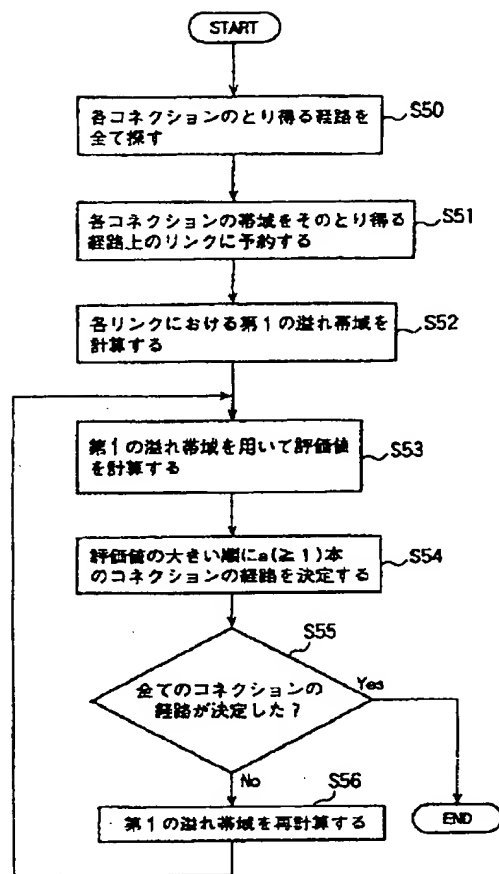




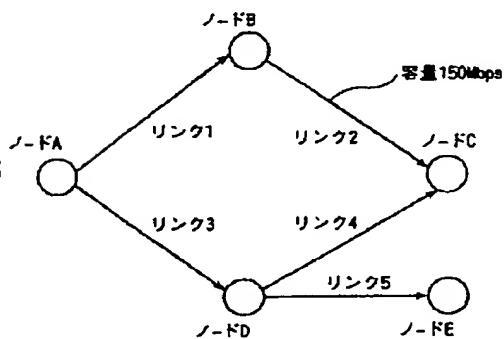
【図10】



【図15】



【図16】



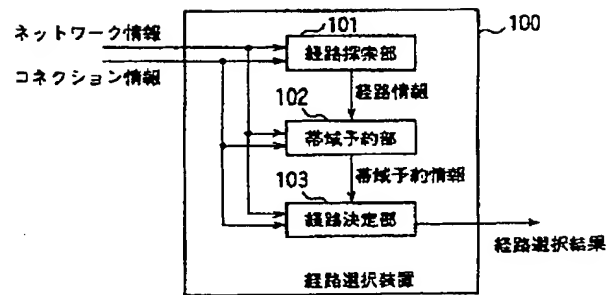
【図21】

経路番号	経路
1	A→B→C
2	A→D→C
3	A→D→E
4	D→E

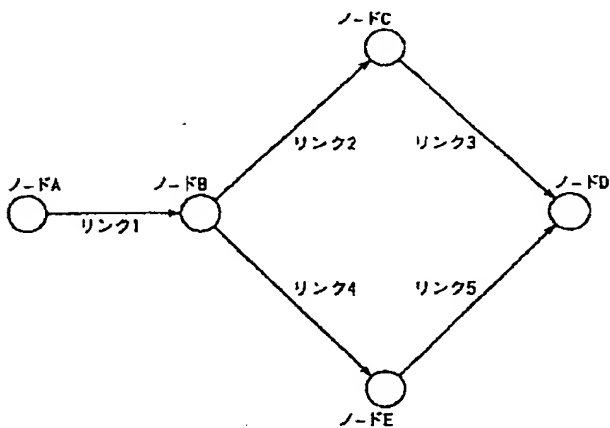
【図11】

コネクション番号	発ノード → 終ノード	下り帯域 [Mbps]	上り帯域 [Mbps]
1	B ↔ E	50	30
2	B ↔ E	50	30
3	B ↔ E	50	30
4	A ↔ E	50	30
5	A ↔ E	50	30
6	A ↔ E	50	30

【図12】



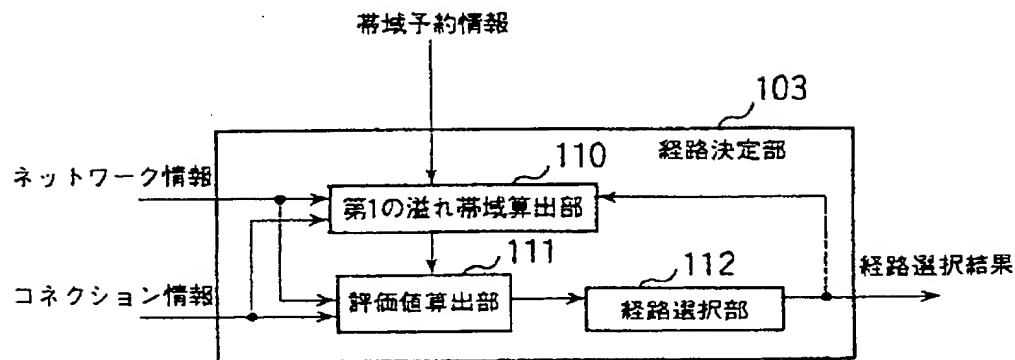
【図13】



【図17】

コネクション番号	発ノード	終ノード	帯域 [Mbps]
1	A	C	10
2	A	C	10
3	A	E	145
4	D	E	5

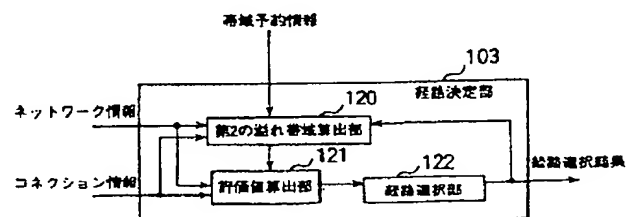
【図14】



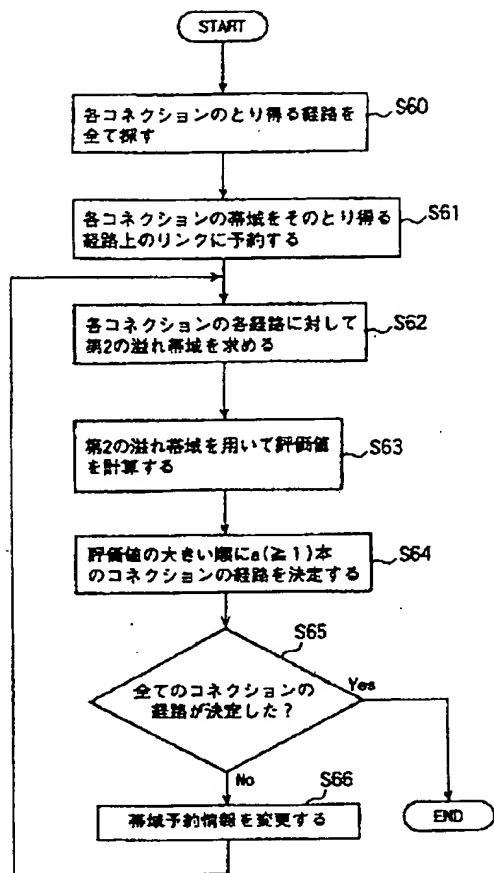
【図18】

コネクション番号	リンク1	リンク2	リンク3	リンク4	リンク5
1	10	10	10	10	0
2	10	10	10	10	0
3	0	0	145	0	145
4	0	0	0	0	5
	20	20	165	20	150

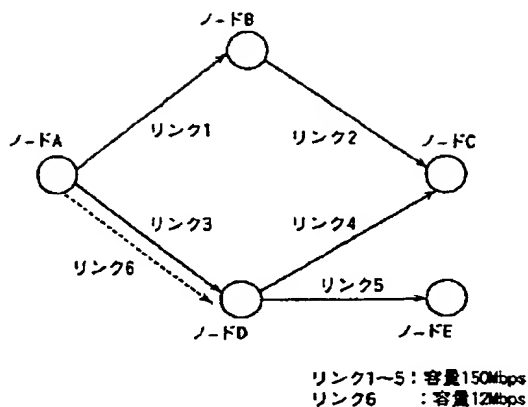
【図19】



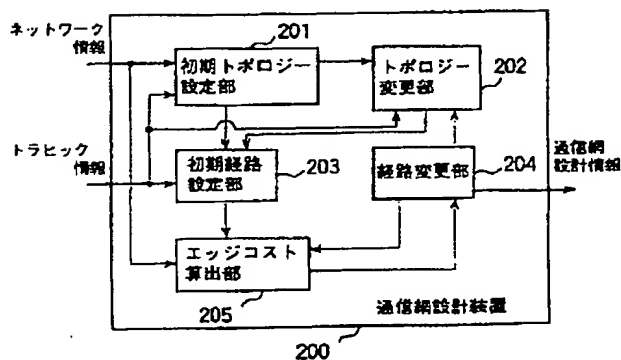
【図20】



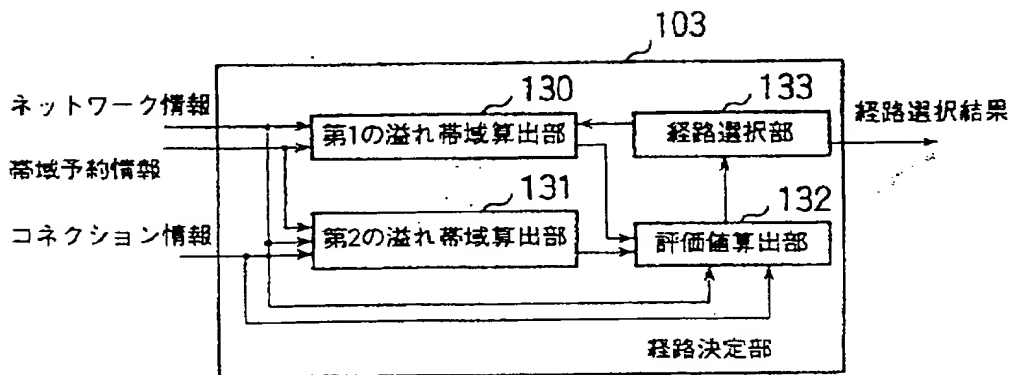
【図24】



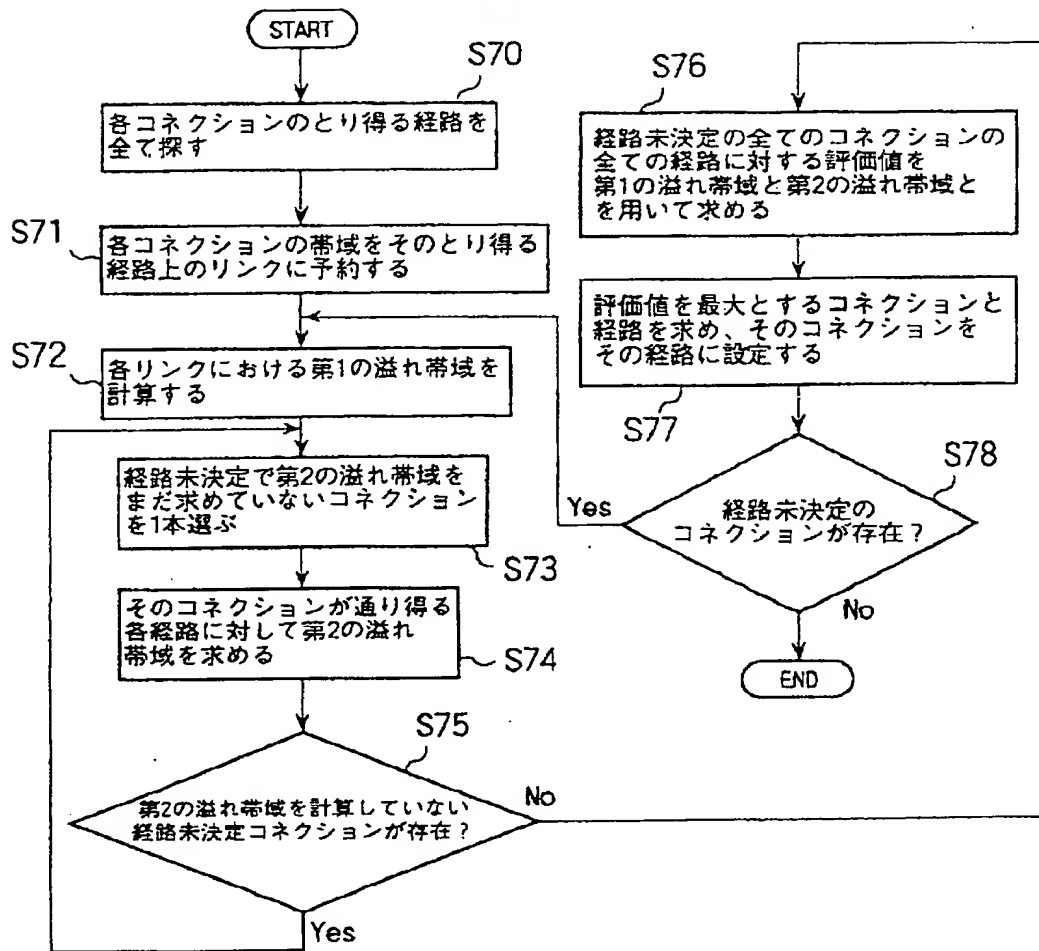
【図25】



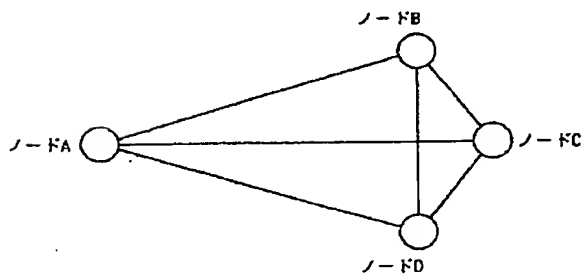
【図22】



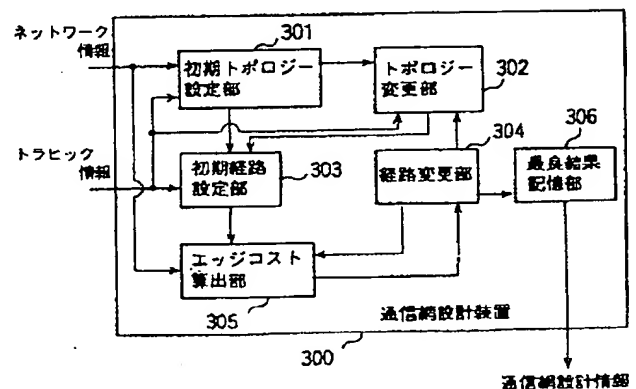
【図23】



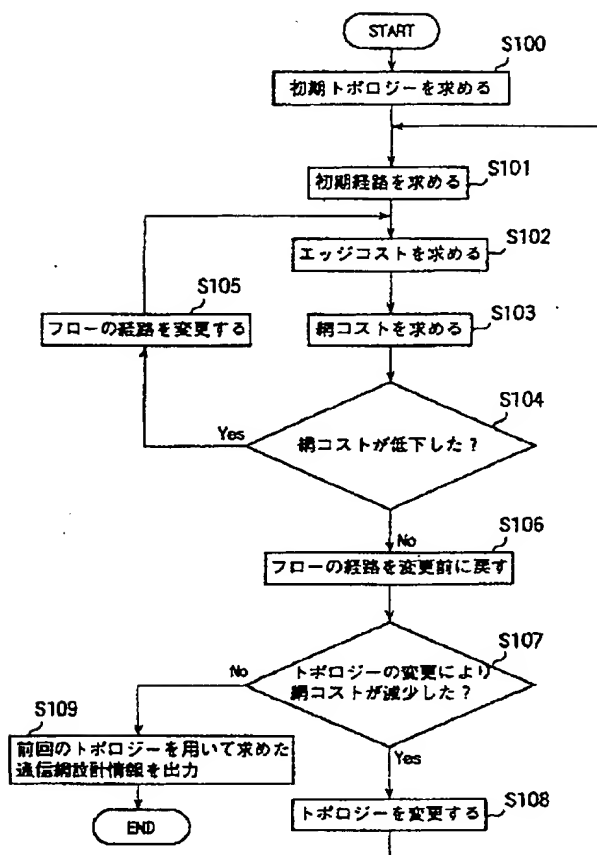
【図28】



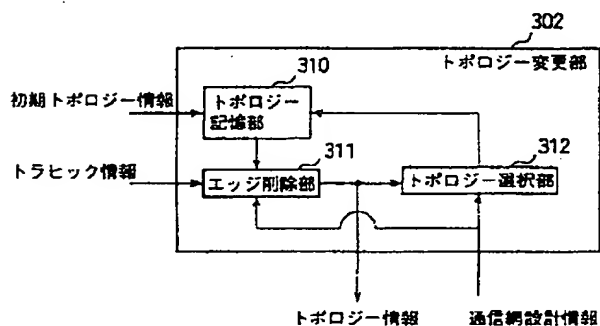
【図30】



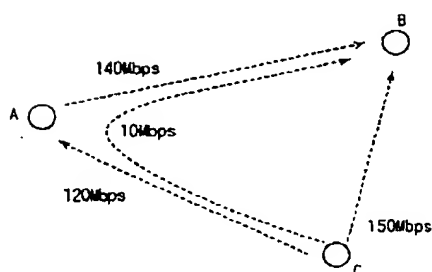
【図 2 6】



【図 3 2】



【図 3 9】



【図 2 7】

リンクAB		リンクAC		リンクAD	
容量	コスト	容量	コスト	容量	コスト
20	4	20	4	20	4
40	8	40	8	40	8
60	12	60	12	60	12
100	16	100	16	100	16

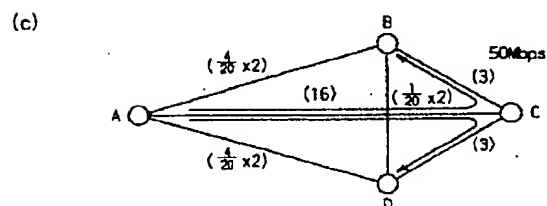
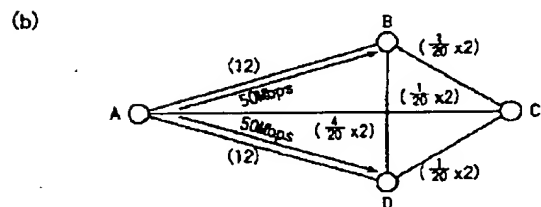
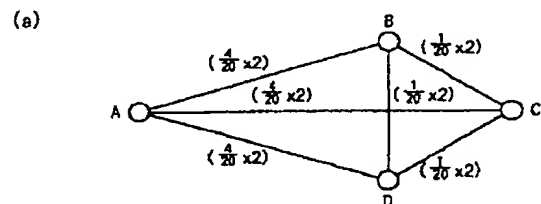
リンクBA		リンクCA		リンクDA	
容量	コスト	容量	コスト	容量	コスト
20	4	20	4	20	4
40	8	40	8	40	8
60	12	60	12	60	12
100	16	100	16	100	16

リンクBC		リンクBD		リンクCD	
容量	コスト	容量	コスト	容量	コスト
20	1	20	1	20	1
40	2	40	2	40	2
60	3	60	3	60	3
100	4	100	4	100	4

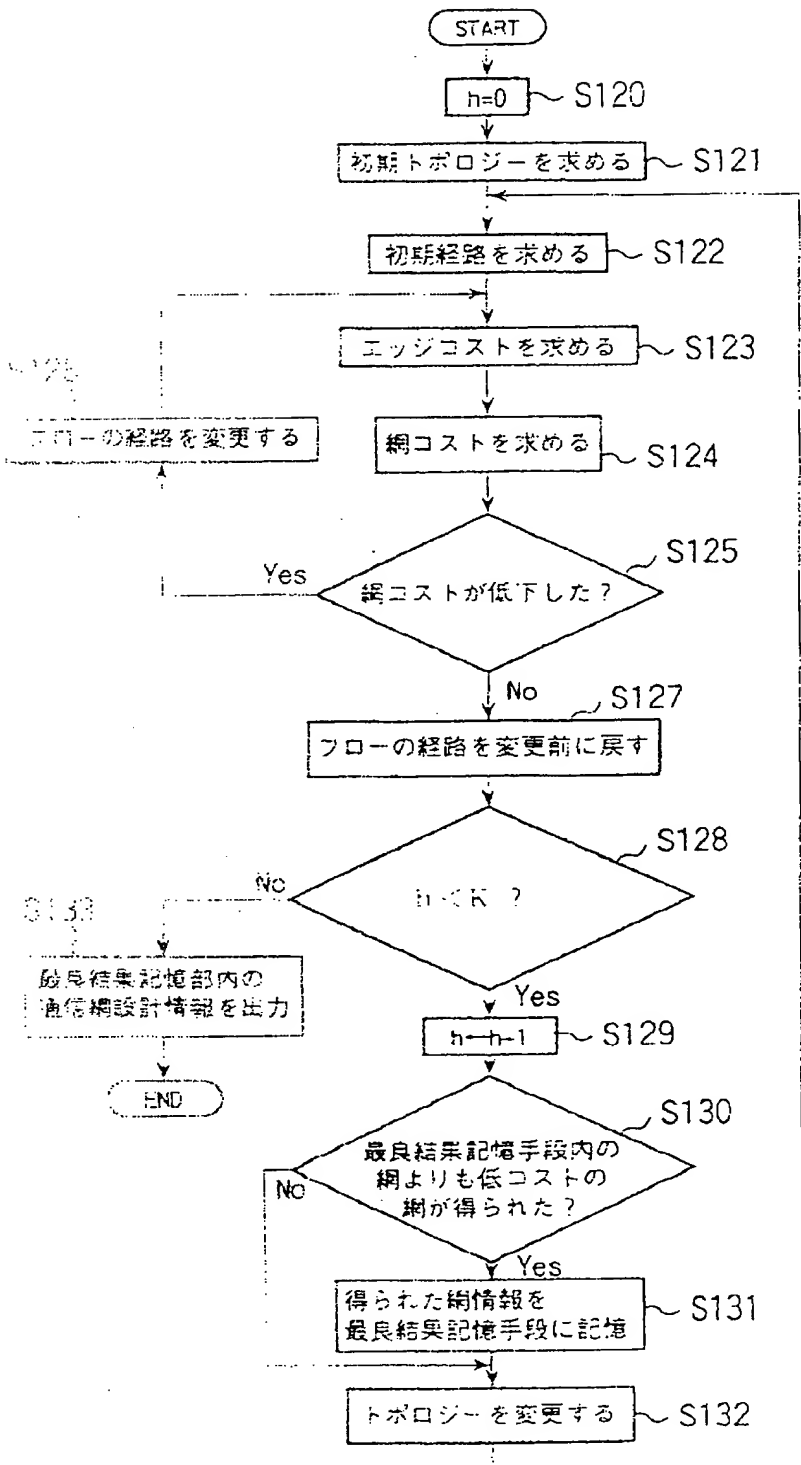
リンクCB		リンクDB		リンクDC	
容量	コスト	容量	コスト	容量	コスト
20	1	20	1	20	1
40	2	40	2	40	2
60	3	60	3	60	3
100	4	100	4	100	4

容量: Mbps  
コスト: 万円

【図 2 9】



【図31】



【図35】

リンクAB		リンクAC		リンクAD	
容量	コスト	容量	コスト	容量	コスト
20	4	20	4	20	4
100	16	100	16	100	16

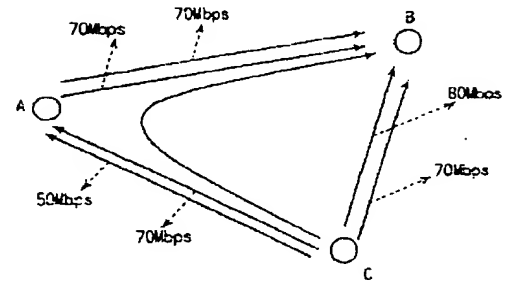
リンクBA		リンクCA		リンクDA	
容量	コスト	容量	コスト	容量	コスト
20	4	20	4	20	4
100	16	100	16	100	16

リンクBC		リンクBD		リンクCD	
容量	コスト	容量	コスト	容量	コスト
20	1	20	1	20	1
100	4	100	4	100	4

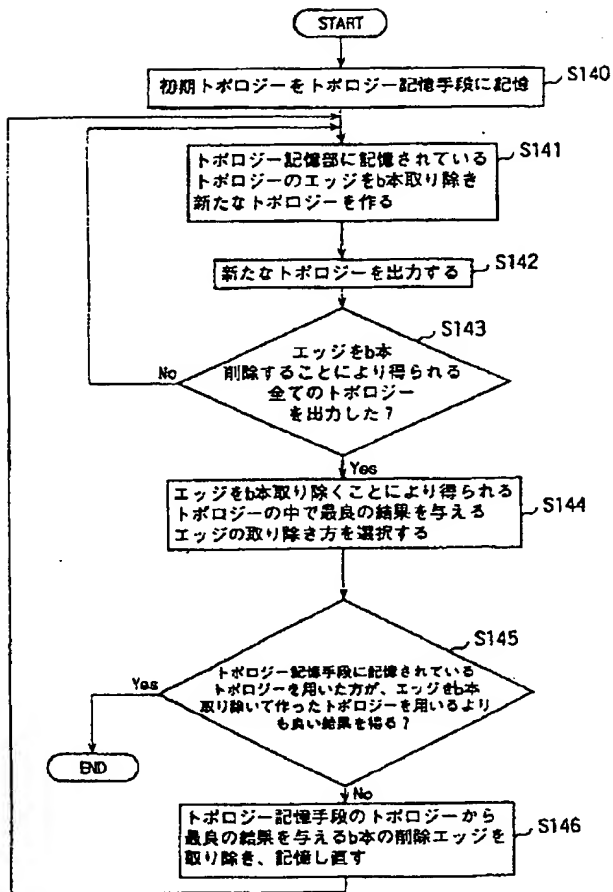
リンクCB		リンクDB		リンクDC	
容量	コスト	容量	コスト	容量	コスト
20	1	20	1	20	1
100	4	100	4	100	4

容量: Mbps  
コスト: 万円

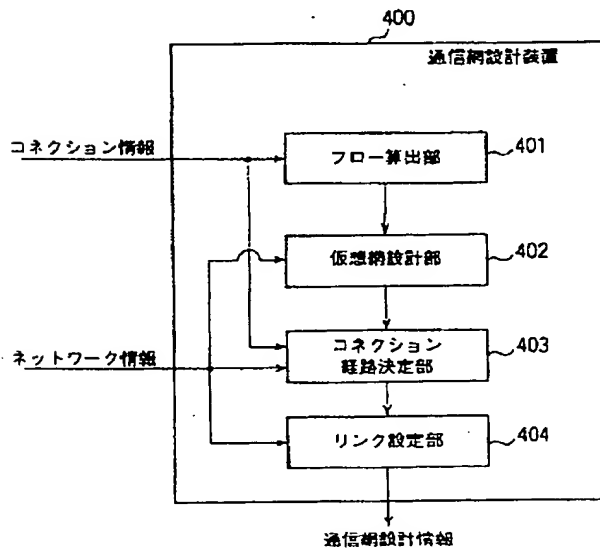
【図40】



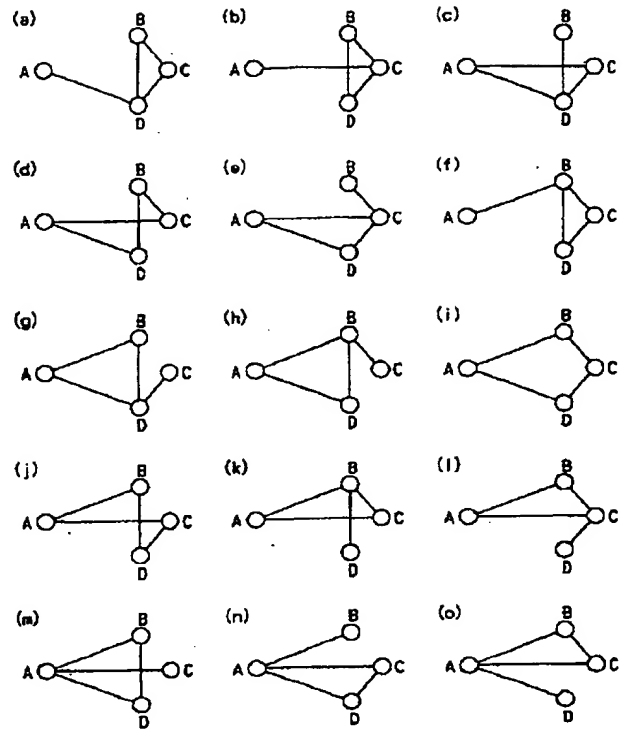
【図 3 3】



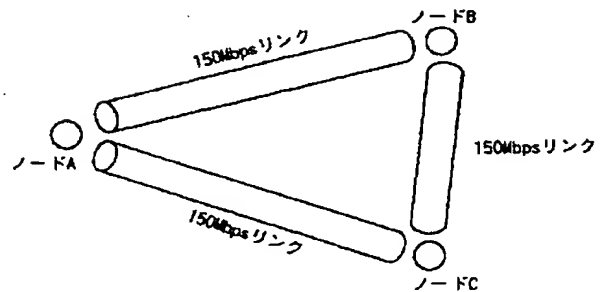
【図 3 7】



【図 3 4】



【図 3 8】



【図 3 6】

エッジAB		エッジAC		エッジAD	
フローの量	コスト	フローの量	コスト	フローの量	コスト
0~20	4	0~20	4	0~20	4
20~40	8	20~40	8	20~40	8
40~60	12	40~60	12	40~60	12
60~100	16	60~100	16	60~100	16
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.

エッジBA		エッジCA		エッジDA	
フローの量	コスト	フローの量	コスト	フローの量	コスト
0~20	4	0~20	4	0~20	4
20~40	8	20~40	8	20~40	8
40~60	12	40~60	12	40~60	12
60~100	16	60~100	16	60~100	16
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.

エッジBC		エッジBD		エッジCD	
フローの量	コスト	フローの量	コスト	フローの量	コスト
0~20	1	0~20	1	0~20	1
20~40	2	20~40	2	20~40	2
40~60	3	40~60	3	40~60	3
60~100	4	60~100	4	60~100	4
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.

エッジCB		エッジDB		エッジDC	
フローの量	コスト	フローの量	コスト	フローの量	コスト
0~20	1	0~20	1	0~20	1
20~40	2	20~40	2	20~40	2
40~60	3	40~60	3	40~60	3
60~100	4	60~100	4	60~100	4
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.

フローの量: Mbps  
コスト: 万円



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**